



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

연약지반 도로 확장공사 시 발생하는 문제와 그 해결책

Problems Due to The Expansion of The Existing Road
in Soft Ground and Their Solutions



지도교수 김 태 형

2012년 2월

한국해양대학교 해사산업대학원

토목환경공학과

최 명 호

本 論文을 崔明鎬의 工學碩士 學位論文으로 認准함.

委員長

서 영 교



委 員

경 갑 수



委 員

김 태 형



2012年 2月

韓國海洋大學校 海事産業大學院

목 차

목차	i
List of Tables	iii
List of Figures	v
Abstract	vi
제 1 장 서 론	1
1.1 연구의 배경	1
1.2 연구의 목적 및 범위	2
제 2 장 기존 남해고속도로 제2지선 설계현황	3
2.1 노선특성	3
2.2 연약지반 설계	5
2.2.1 확장개요	5
2.2.2 연약지반 분포현황	6
2.2.3 연약지반 처리방안 설계현황	7
제 3 장 기존 설계 문제점 검토 및 조사	17
3.1 시공 중 예상되는 문제점	17
3.2 현황조사 분석	24
3.2.1 남해고속도로 일반구간/연약지반 포장 보수현황 조사 분석	24
3.2.2 연약지반 처리공법 적용 유무에 따른 포장보수 현황비교	34
3.2.3 남해선 교량 뒷채움부 침하 현황 조사	35
3.2.4 연약지반 재하이력 차이에 의한 불균등 침하 사례 조사	39
3.2.5 인근 00현장 피해발생 사례조사 및 자료수집	40
3.2.6 기타 시공 중 연약지반 피해 발생 사례	42
제 4 장 설계 개선방안 검토	43

4.1 착안사항	43
4.1.1 개선방향 수립	43
4.1.2 개선방향에 대한 사례조사 및 분석	43
4.2 개선방안 확정	51
4.2.1 개선방안(설계변경 안) 수립	51
4.2.2 개선방안 타당성 검토	52
 제 5 장 결 론	 56
 참고문헌	 59
 감사의 글	 61



List of Tables

Table 2.1	연평균 일교통량	4
Table 2.2	차종 구성비(2010)	5
Table 2.3	3공구 구간별 강도증가율 산정결과	9
Table 2.4	연약지반개량공법 종류	10
Table 2.5	PBD 공법의 특성	11
Table 2.6	수직배수 간격 영향($F_{(n)}$) 이론별 특성	12
Table 2.7	PBD의 등가환산직경(d_w)	14
Table 2.8	PBD의 영향원	14
Table 2.9	공구별 공법적용현황	16
Table 3.1	기존 남해고속도로 연약지반 처리 사례 현황(서김해~ 부산종점 구간)	19
Table 3.2	지반조건에 따른 침하 특성(예)	19
Table 3.3	한국도로공사 허용잔류침하량 설계기준	20
Table 3.4	타 기간 허용잔류침하량 적용 현황	20
Table 3.5	국내고속도로 본선 침하량 발생 현황	22
Table 3.6	비교대상 구간 현황	24
Table 3.7	남해고속도로 아스팔트 포장 보수 빈도(주기) 비교	30
Table 3.8	보수현황 비교	31
Table 3.9	기간별 보수율 비교	31
Table 3.10	중차량 통행에 따른 포장 보수 비교	31
Table 3.11	남해고속도로 서김해 ~ 동김해 구간 포장보수 현황	34
Table 3.12	교량 뒷채움부 침하 현황 조사 결과	35
Table 4.1	설계 개선 방향	43
Table 4.2	1996년 준공한 남해선 시험시공 결과	44
Table 4.3	일본도로공단 허용잔류침하량 설계기준	44
Table 4.4	여성토랑에 따른 잔류침하량	47
Table 4.5	여성토랑 조정에 따른 침하량 증가율	48
Table 4.6	중단 (-)조정 시 침하량 및 잔류침하량 예측	49
Table 4.7	(-)중단조정에 따른 잔류침하량 변화 유추	49

Table 4.8 변경 허용잔류침하량 설계기준	51
Table 4.9 공사량 변경	53
Table 4.10 기준 변경 시 침하속도	54



List of Figures

Fig. 2.1 노선도	3
Fig. 2.2 확장계획도	5
Fig. 2.3 연약지반 분포 현황도	6
Fig. 2.4 지층현황도	7
Fig. 2.5 기존도로 종단 상향조정 Flow	7
Fig. 2.6 강도증가율(m)	9
Fig. 2.7 투수능 검토(PBD)	13
Fig. 2.8 횡단면도 및 공법적용 개요	15
Fig. 2.9 확장 시공순서도	16
Fig. 3.1 기존고속도로 법면 현장확인 결과	17
Fig. 3.2 채취된 코어 예	18
Fig. 3.3 영동선(강릉방향) 소래교~월곶1교 침하현황	21
Fig. 3.4 남해선(부산방향) 풍유육교~해반천교 침하현황	21
Fig. 3.5 남해고속도로 제2지(서부산방향) 서낙동강교~순아교 침하현황	22
Fig. 3.6 남해고속도로 제2지선 포장 코어채취	23
Fig. 3.7 남해선 교통량(대/일) 현황	24
Fig. 3.8 남해선(냉정~부산) 구간 포장 덧씌우기 시행 도식	25
Fig. 3.9 2008년 교통량 대비 포장보수 현황	32
Fig. 3.10 1999~2008년 남해선 포장보수율과 교통량 현황	32
Fig. 3.11 중앙부 부등침하 및 종방향 균열 발생 전경(동김해IC 주변)	39
Fig. 3.12 인근현장 피해발생 현황도	40
Fig. 3.13 균열발생 및 주변 농경지 허빙 전경	41
Fig. 3.14 공사 중 발생한 피해사례	42
Fig. 4.1 연약지반 구간 유지관리 시 침하에 의한 포장보수 개요도	45
Fig. 4.2 연약층 두께별 침하기간 비교	46
Fig. 4.3 종단조정방안	51
Fig. 4.4 평면선형 분리 방안	52
Fig. 4.5 시공단계 축소	52
Fig. 5.1 설계변경 결과 요약	58

Problems Due to The Expansion of The Existing Road in Soft Ground and Their Solutions

by
Choi, Myung Ho

Department of Civil and Environmental Engineering
Graduate School of Maritime Industrial Studies
Korea Maritime University



Abstract

A lot of problems have been occurred during the construction of road on soft ground. These problems are keep appearing even after the construction has been completed. Especially more problems are expected in expanding of the road on soft ground than new road construction.

In case of "Namhae Expressway 2nd Jisun", it has been planed to remove the existing road which was already stabilized for 30 years before applying the soft ground treatment methods. It has

also been planning to banking about 5m of ascent from existing road to meet the standards for road ascent slopes. But, in this case, it cause damage the near by houses, factories, railroads due to the soil disturbance due to soft ground improvement and also cause the increase of construction period, poor workability and project cost increase.

But, it could minimize settlement by downgrade of road ascent slope. Differential settlement damage could be mminimized near by median strip through separating lines. If it changes design criteria for the allowable residual settlement depending on soft ground depth then it will be passible to secure easing the construction period through the construction progress simplification. In addition, the stability of soft ground will be ensured as well as workability improvement and cost effectiveness.

However, to expand application of design criteria for changed allowable residual settlement which is applied only to the "Namhae Expressway 2nd Jisun" expansion construction, the real settlement at the time of completion of the expansion and the effects of secondary consolidation settlement should be compared to changed design settlement, and then detailed analysis should be conducted.

In addition, researches and feed back will be required for occurred settlement during operating and road maintenance costs.

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경

남해고속도로 제2지선(냉정 ~ 부산 간)은 국민소득 향상과 레저욕구 증대로 인하여 고속도로 교통수요가 교통용량에 근접하고 있어 교통 정체로 인한 고속도로가 갖는 쾌적성 및 신속성의 특성이 상실되어 왔었다. 이에 따라 고속도로 본연의 쾌적성 및 신속성 확보와 더불어 국가의 경제적 향상, 사회간접자본 확충을 위한 광범위한 도로망 확충 및 국토의 균형발전을 위해 1500일간의 공사기간을 가지고 기존의 4차로 고속도로를 8차로로 확장하는 확장공사를 08년 12월 3일 착공하였다. 하지만 지반조건이 양호한 지역은 농업용지 및 주거용지 등의 수요증가로 이용이 가능한 지역이 현저히 줄어들어 있어 지반특성과 여건이 불량한 연약지반구간에 위치한 기존의 남해고속도로 선형에 접속한 확장방법이 계획되었다.

연약지반이란 상부의 하중을 지지할 수 없는 지반을 말하며, 일반적으로 점토, 실트 등 미세한 입자가 많고, 변형이 쉽게 발생하는 지반을 말한다. 특히, 남해고속도로 제2지선(냉정 ~ 부산) 구간은 최대심도 53m의 델타 연약지반구간에 위치하고 있어 설계조건에 따라 공사중 안전, 공사비 및 공사기간이 달라질 수 있어 설계조건에 대한 특별한 검토 및 관리가 요구된다.

남해 제2지선 고속도로 확장공사는 '08년 12월 3일 기 착공되었으나 초기 민원 및 용지 협의매수 지연 등으로 6개월에서 1년여 동안 연약지반 처리작업을 적기에 착수하지 못하여 연약지반처리 공기가 부족한 상태이다. 또한 기존고속도로 위에 토사를 성토하여 도로 종단을 상향, 폭원을 4차로에서 8차로로 확장함에 따라 일부 구간에서는 침하량이 2m 이상(최대 5.4m) 과다하게 발생되며, 주어진 공사기간 내 침하기준 만족을 위해 기존고속도로를 제거한 후 기존고속도로부지 하부에 연약지반 처리 후 다시 채 성토토록 되어 있어 공정이 복잡하고 공사기간 또한 과다 소요된다. 그리고 30년 이상 사용되어 안정화된 기존 고속도로 하부 연약지반에 연약지반 처리공법 적용 후 추가 성토토록 계획되어 있어 지반교란으로 예기치 못한 주변부 변위가 예상되며, 이에 따라 기존 고속도로 주변 농경지 및 공장, 가옥으로부터 민원 발생이 우려 되는 실정이다.

고속도로 확장은 고속도로의 교통소통 기능을 유지한 상태에서 단계별 교통전환에 따른 확장이 이루어진다. 하지만 연약지반 구간의 확장공사는 연약지반의 특성으로

인해 우선 시행되는 확장 부 성토 시 발생하는 침하로 기존 고속도로에 연동침하가 발생하며, 이 경우 지반침하 및 변형에 의한 포장 평탄성 불량, 차량 주행 안전성 저하, 구조물 안정성 저해 등 시공 및 기존도로 유지관리에서 많은 어려움을 유발하고 있다. 고속도로의 사회·경제적인 영향이 증대됨에 따라 언론 및 고속도로 이용자를 통해 다양한 문제 제기가 반복되고 있어, 안정화된 시공관리를 위한 대책 수립과 설계된 연약지반 처리공법의 정확한 실태 파악이 시급한 실정이다.

따라서 기술적 측면에서 안정화된 연약지반 확장공사 설계 및 시공 개선 방안이 수립될 경우, 확장 공사 중 발생할 수 있는 문제점들을 최소화 할 수 있으며, 유지관리를 감안한 건설비용 절감을 유도 할 수 있을 것으로 판단된다.

1.2 연구의 목적 및 범위

본 연구에서는 남해고속도로 제 2지선 확장공사의 이미 설계된 연약지반 처리공법에 대한 문제점을 도출하고 개선안 비교 검토를 통해 안정적이고, 효율적인 공법으로 개선함으로써 원활한 공사추진 및 시공의 안정성 등 증진을 목적으로 한다.

이를 위해 기존도로를 제거 한 후 다시 성토작업을 시행하는 부분에 대한 시공성 개선, 기존도로 법면부를 천공 한 후 PBD공법 시행에 따른 시공성 저하 개선, 기존도로 제거 시 발생하는 페아스콘 처리 등에 따른 사업비 증액 처리방안 강구, 복합공종 다단계 시공에 따른 공기지연 부분 해소, 교대 부 연약지반처리 후 교대 시공에 따른 공사기간 부족 해소, 연약지반의 지반특성이나 심도와 무관하게 일률적으로 적용된 허용잔류침하량의 기준 재정립, 부체도로 등 법정도로 이 외의 도로에 대한 별도의 연약지반처리기준 마련, 고속도로 종단하향조정 및 평면선형 분리 등, 연약지반 처리공법 개선 등에 관한 방안을 검토하고자 한다.

특히 본 변경 설계에서 특히 집중적으로 검토하고 분석된 사항들은 다음과 같다.

- 현황 및 문제점 분석
- 종·평면 선형 변경검토
- 연약지반처리 변경검토
- 구조물 기초 시공성 향상 방안

제 2 장 기존 남해고속도로 제2지선 설계현황

2.1 노선특성

남해고속도로 제2지선의 경우 설계속도는 100km/h 이며 연약지반에 따른 설계 변경 대상구간의 연장은 11.3km이다. 목표교통량은 목표연도 2032년에 129,349대/일이며 노선도는 Fig. 2.1과 같다.

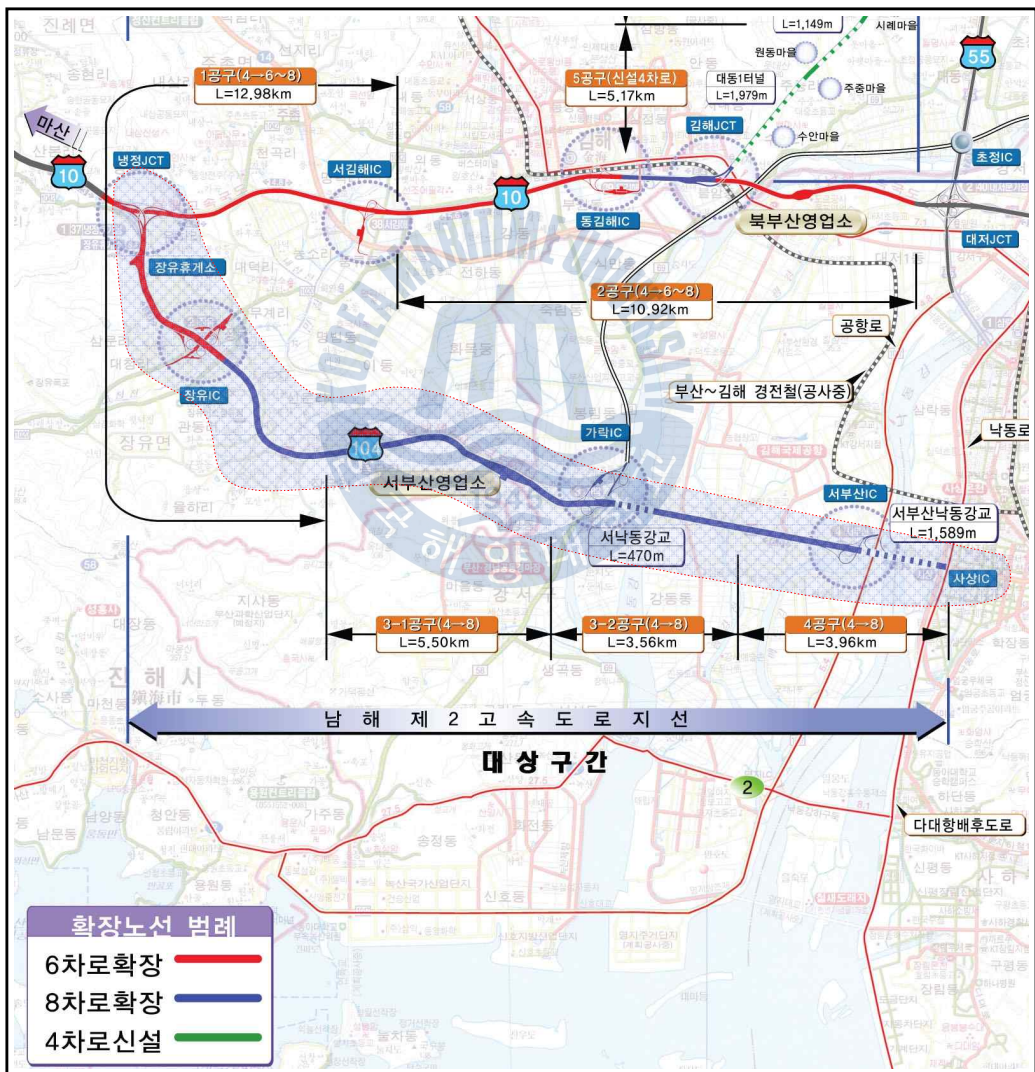


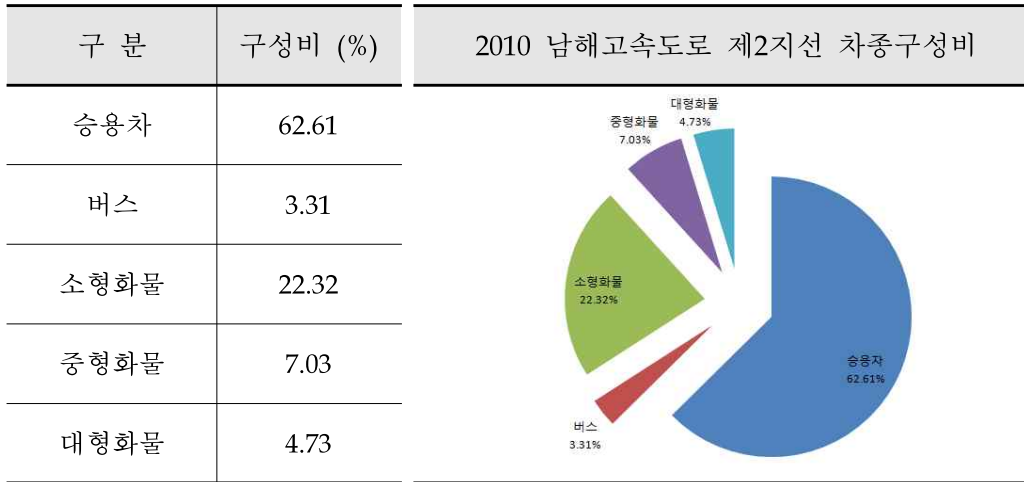
Fig. 2.1 노선도

남해고속도로 제2지선은 확장을 통하여 교통혼잡 해소로 물류비용 절감, 노선선형 불량 구간 개선으로 교통사고 감소, 국토 균형발전과 급증하는 교통수요에 부응, 교통량 증가에 따른 정체해소 등을 기대하고 있다. 이러한 남해고속도로 제2지선의 1999년 이후 2010년까지 교통량(Table 2.1) 및 2010년도 운행 차종구성비(Table 2.2)는 아래 Table과 같다.

Table 2.1 연평균 일 교통량

구분		구 간			
		냉정JCT ~ 장유 IC	장유IC ~ 가락IC	가락IC ~ 서부산 IC	서부산IC ~ 부산
연장		3.1km	9.7km	5.3km	2.5km
연평균 일교통량 AADT (대/일)	1998	50,557	71,922	-	79,650
	1999	51,193	73,084	-	80,531
	2000	51,597	72,909	73,881	80,823
	2001	62,593	72,848	77,358	94,521
	2002	59,027	62,677	79,898	102,376
	2003	60,610	62,407	80,517	97,458
	2004	51,017	67,153	81,140	98,300
	2005	53,647	67,980	82,121	99,214
	2006	54,361	67,075	78,825	98,154
	2007	50,874	66,644	80,355	98,324
	2008	53,050	68,657	80,202	97,265
	2009	51,361	66,613	82,138	99,613
	2010	52,887	68,443	85,319	101,057
평균 증가율		0.4%	-0.4%	1.5%	2.2%
비고				2000년 폐쇄식 전환	

Table 2.2 차종 구성비(2010)



2.2 연약지반 설계

2.2.1 확장개요

남해고속도로 제2지선 확장공사는 1공구, 3공구, 4공구, 5공구로 구분 총 4개 공구로 나누어 확장사업을 시행중에 있으며 1공구는 울트라건설, 3공구는 벽산건설, 4공구는 동아건설, 5공구는 대림산업이 주관 시공사로 참여, 공사를 시행중에 있다.

냉정JCT에서 장유IC까지 구간은 기존 4차로 구간을 6차로로 단순 확장(중단조정 없음)토록 계획되어 있으며, 장유IC 이후 부산 중점까지는 중단조정 및 편측확장을 통한 4차로 구간을 8차로로 확장(37.8m)토록 계획되어 있으며 Fig 2.2와 같다.

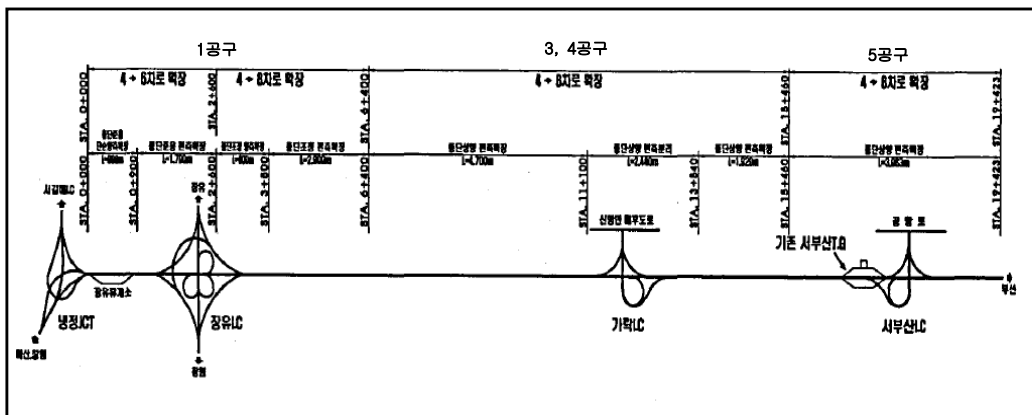


Fig. 2.2 확장계획도

2.2.2 연약지반 분포현황

1공구 구간에 분포하는 연약지반은 총연장 6.40km 중 STA. 5+110부터 STA. 6+000지점까지 890m 구간에 약 0.0~15.4m의 두께로 분포하고 있으며 시추조사결과 연약층은 점토질 실트 내지 실트질 점토로 구성되어 있다. 3공구는 총연장 5.50Km(본선 5.50km)로 조만강(5+140~5+500)을 가로질러 위치하고 있으며, 전체적으로 0K+000 ~ 1K+000구간을 제외한 모든 구간에 걸쳐 얇게는 2.0m 깊게는 50.8m 정도의 연약점토층이 분포하고 있다.

4공구는 총연장 3.56Km(본선 3.56km, 가락IC 1.23km)로 서낙동강(6K+160)과 평강천(8K+080~8K+230)을 가로질러 위치하고 있으며, 최대 53m 정도의 연약점토층이 분포하며, 서낙동강 이후구간의 경우 하천의 오랜 유수에 따른 퇴적특성에 기인하여 상부 약 10m~12m두께로 세립의 사질층이 분포하며 그 하부로 연약점토층이 분포하고 있다. 5공구는 전 구간에 걸쳐 연약 사질토층이 2.9~11.4m의 두께로, 연약 점성토층이 8.0~25.2m의 두께로 분포하고 있으며, 시추조사 결과 연약 점성토층은 점토질 실트 내지 실트질 점토로 구성되어 있다.

Fig 2.3은 공구별 연약지반 분포현황을 그림으로 나타낸 것이며, Fig. 2.4 (a)는 3,4공구 경계부인 조만강 주변, (b)는 5공구 시점부의 지층현황도 예이다.

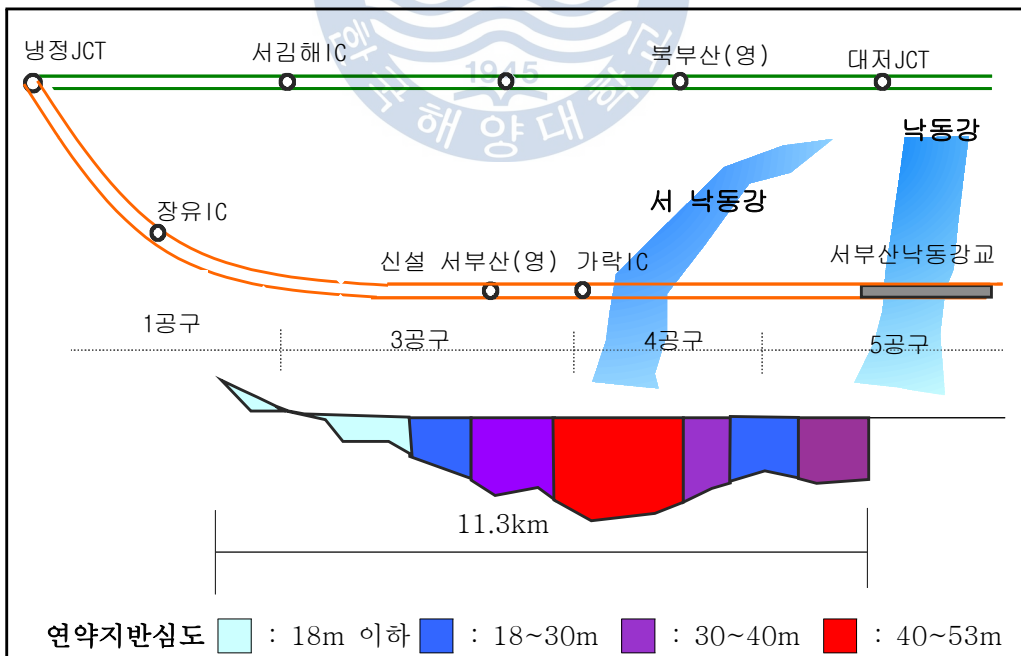


Fig. 2.3 연약지반 분포 현황도

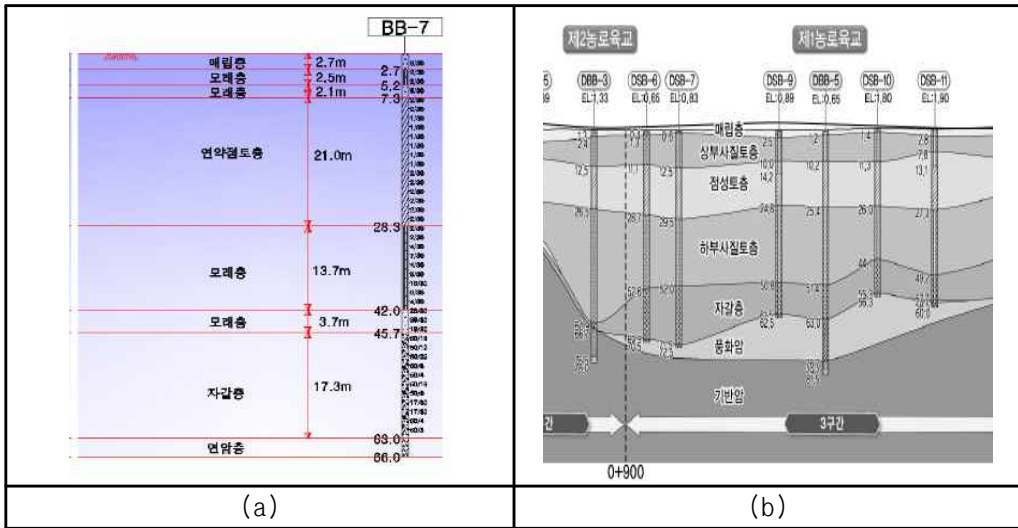


Fig. 2.4 지층현황도

2.2.3 연약지반처리방안 설계현황

(1) 신설확장 구간 설계 개요

평면선형 조정이 이루어지는 일부 구간을 제외하고는 대부분 냉정방향으로 확장이 이루어지며, 기존 고속도로에 접속하여 확장토록 되어 있다. 허용잔류침하량 10cm 만족을 위해 압밀축진공법이 적용되었으며, 압밀축진을 위한 연직배수공법으로는 Plastic Board Drain(PBD)이 적용되어 있다. 수평배수를 위해서는 상부 사질토층이 분포된 4공구 일부 구간과 5공구에는 Fiber Drain이 적용되어 있으며, 그 외 구간에는 쇄석매트층이 적용되어 있다.

(2) 기존도로 구간 설계 개요

신설확장부가 접속 확장됨에 따라 기존도로 종단 개량이 필요하며 기존도로 종단 개량(상향조정)에 따른 허용 잔류침하량 10cm를 만족시키기 위해 기존도로 체체를 제거하고 압밀축진을 위한 연직배수공법(PBD)을 적용토록 되어있으며, 수평배수는 신설 확장부와 동일하게 상부 사질토층이 분포된 구간(4공구 일부구간과 5공구)에는 Fiber Drain이, 그 외 구간에는 쇄석 매트층이 적용되어 있다.

기존도로 제거 ⇒ 기존도로 하부 연약지반처리 ⇒ 채성토 ⇒ 종단 상향조정

Fig. 2.5 기존도로 종단 상향조정 Flow

(3) 설계 시 현장조사, 검토 사항 및 공법 선정 흐름

설계에는 지형 및 지층특성, 계획단면의 제원에 따라 공구별 5~6개 이상의 구간을 설정하고 선정된 구간별로 비중, 입도, 액성한계, 소성한계, 활성도, 함수비, 단위중량, 간극비, 포화도 등의 물리특성이 분석 되어있다. 또한 과압밀비 대상검토, 압축지수 산정, 시험결과로부터 분석된 하중-압밀계수 그래프를 이용한 압밀계수 선정, 투수계수 산정 등의 압밀특성 분석, 비배수전단강도 평가 및 강도증가율 예측 등 전단강도 특성분석을 통해 설계정수를 평가, 구간 내 토공단면 및 하중특성에 따라 산정된 설계 지반정수를 이용 연약지반 처리 방안을 검토 하였으며, 그 결과가 설계에 적용되어있다.

단, 2차 압밀침하는 하중의 증가와 관계없이 발생하는 시간과 토질에 따른 2차압축지수의 함수로서, 일반적으로 2차압밀 침하량만큼의 프리로딩을 가하여 미리 침하를 발생시키는 것으로 설계하나, 실제 2차압밀 침하량이 제어되지 않고, 아스팔트의 포장수명보다 장기간에 걸쳐 발생하는 특성을 감안, 남해고속도로 제2지선 설계 시에는 도로의 수명에 따라 덧씌움(Overlay) 공사를 통해 안정성을 확보할 수 있을 것으로 판단 설계 시 고려되어 있지 않다. 따라서, 사질토의 즉시침하와 점성토의 1차압밀에 대해서만 목표 침하량으로 산정되어있다.

1차 압밀해석은 응력이완의 변화 및 단계성토에 따른 침하량 산정이 용이한 압축지수(Cc)법을 설계 적용하였으며, 압밀시간은 Terzaghi가 제안한 압밀도(U)-시간(t) 관계식(식 (1)) 이용 연약지반 각 구간의 압밀도에 따른 압밀시간을 산정하여 계획된 처리기간 내에 압밀가능토록 되어있다.

Terzaghi가 제안한 압밀도(U)-시간(t) 관계식은 다음과 같다

$$t = \frac{T_v \times H^2}{C_v} \dots\dots\dots \text{식(1)}$$

여기서, t: 압밀시간, T_v : 시간계수, H: 배수거리(양면배수의 경우 $H/2$)
 C_v : 평균압밀계수(cm^2/sec)
 압밀도에 따른 시간계수(T_v)는 간편식 이용 하였다

$$T_v = \frac{\pi}{4} \left(\frac{U}{100} \right)^2 \quad 0 < U < 53\% \text{ 인 경우}$$

$$T_v = 1.781 - 0.933 \log(100 - U) \quad 53 < U < 100\% \text{ 인 경우}$$

성토작업 시행에 따른 안정성 검토는 원호활동을 통해 한계 성토고를 산정하였으며 강도정수는 초기 비배수 전단강도를 적용하였으며, 압밀도 90%를 기준으로 강도증가율(Fig. 2.6)을 적용 한 후, 시공조건, 점성토층 분포현황, 연약지반에서 시공 장비의 규모, 시공실적, 처리공법의 기대효과와 내구성, 안정성 및 경제성, 연약지반 개량 후 잔류침하량, 주변환경에 대한 악영향, 개량공법의 공사비 및 시공기간, 사용재료 구입의 용이성 등을 고려 연약지반 대책공법이 선정되어있다.

아래 그림은 강도증가율 산정방법이며 분석결과 전구간 평균 강도증가율은 0.21로 파악되었으며 아래 Table 2.3은 3공구의 강도증가율 분석 예이다.

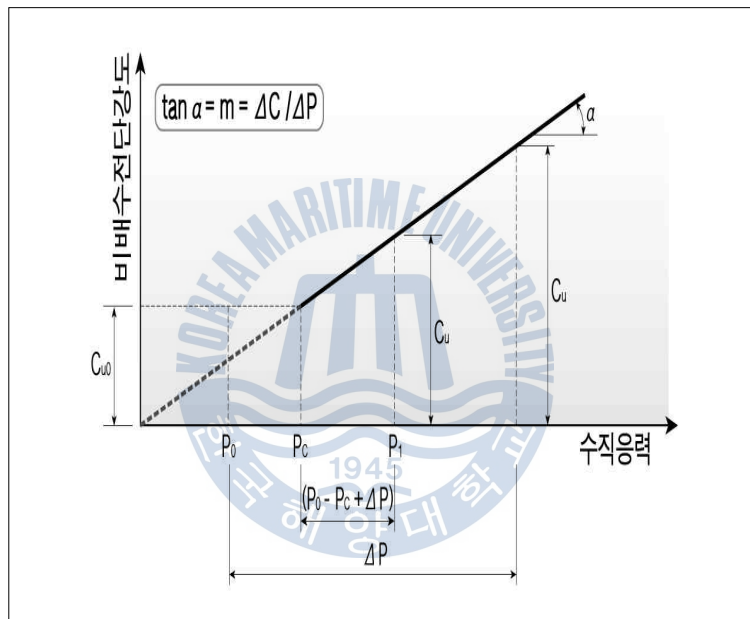


Fig. 2.6 강도증가율(m)

Table 2.3 3공구 구간별 강도증가율 산정결과

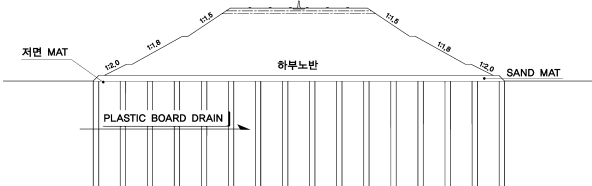
구 분	1구간	2,3구간	4구간	5구간	6구간
본과업 적용	0.22	0.21	0.20	0.20	0.20

압밀축진공법(Table 2.4)은 연약한 점성토 및 실트층이 두껍게 분포하고 압밀계수가 작게 나타나 압밀침하량 및 침하시간, 잔류침하 및 부등 침하량을 고려하여 탈수를 이용한 압밀축진공법이 적용되었으며, 탈수방법으로는 PBD 공법(Table 2.5)이 적용되어있다.

Table 2.4 연약지반 개량공법 종류

구분	개량원리	주요공법	적용지반	개량목적	
하중조절	경량화	경량자재	점성토 유기질토	지반 지지력 향상 지반 전단변형억제 지반 침하억제 활동파괴 방지 Trafficability 확보	
	하중균형	압성토공법			
	하중분산	침상공법			
		Sheet, Net 공법			
		Sand Mat 공법			
		표층혼합처리공법	점성토, 유기질토		
지반개량	치환	굴착치환공법	점성토 유기질토	활동파괴 방지 및 침하 감소 지반전단변형 억제	
		강제치환공법			
	탈수	Preloading 공법		점성토 유기질토	압밀침하 촉진 지반 강도증가 촉진 활동파괴 방지
		연직배수	Sand drain		
			Board drain		
			Pack drain		
		자하수위저하	Well point	사질토	
			Deep well	점성토	
		생석회 Pile공법			
	다짐	Sand Compaction Pile공법	점성토, 사질토, 유기질토	침하 감소 액상화 방지 활동파괴 방지	
		Vibroflotation 공법	사질토		
		Vibrotamper 공법			
		쇄석 Pile 공법	점성토, 사질토		
		동압밀공법	사질토		
	고결	석회계 심층혼합처리	점성토	활동파괴 방지 및 침하 감소 지반의 전단변형방지 지반의 Piping 방지	
		시멘트계 심층혼합처리			
		분사교반공법			
		동결공법	점성토, 사질토		
	지수보강	약액주입공법	사질토	지반 측방유동방지, 차수	
		분사주입공법	점성토, 사질토		
		지수 널말뚝공법	사질토, 유기질토		
지중구조	굴격형성	체질성토공법	점성, 사질토	활동파괴 방지 측방유동 방지	
		Pile Cap. Pile Slab	유기질토		

Table 2.5 PBD(Plastic Board Drain)공법의 특성

구분	Plastic Board Drain(PBD)
드레인 형상	
공법개요	<ul style="list-style-type: none"> • 연약층에 투수성이 양호한 합성수지재를 타입하여 간극수를 배출, 압밀을 촉진시키는 공법 • 설계직경 : 5cm(환산직경)
장점	<ul style="list-style-type: none"> • 공장 제작으로 자재공급 용이 • 타설 심도 변화에 적용성 우수 • 시공장비가 경량이어서 초연약지반내 시공 가능 • 타입시 지반교란이 적음 • 타 공법보다 시공속도 빠르고 경제적인 공법 • 시공실적 최다
단점	<ul style="list-style-type: none"> • N치 10이상 지층 발달시 시공 곤란(매입 저항) • Filter표면내 Clogging 현상 발생
시공실적	<ul style="list-style-type: none"> • 인천국제공항 부지조성(L=12m) • 송도신도시 2,4,5,7공구 • 부산신항배후 조성공사 3공구(L=50.0m) • 부산지하철 2호선 양산선 1공구(L=34m) • 부산지하철 2호선 양산선 2공구(L=23m) • 양산물금 택지사업 조성(3단계)(L=35m) • 동음-한림간 도로 확포장공사(L=22.2m) • 광양항 컨테이너부두(L=30m) 외 다수
매설심도	최대 50m
타 공법 적용성 검토	<ul style="list-style-type: none"> • Sand Drain의 경우 모래수급에 따른 공사비 증가 및 시공 가능심도(20~30m) 부적합 • Pack Drain의 경우 모래수급에 따른 공사비 증가 및 4분을 동시에 시공하는 구조로 지층이 불균일 할 경우 미개량층이 발생 가능하며 시공 가능심도 부적합 • Plastic Cylindrical Drain과 Fiber Drain의 경우 PBD에 비해 공사비가 고가이며 배수재 필터에 대한 시방규정이 미비되어 클로킹에 대한 우려가 있음

연직배수제 타설 시에는 지반교란으로 인하여 투수성이 저하되는 것으로 알려져 있다. 따라서 지반교란에 의한 Smear Effect 및 Well Resistance 영향 검토가 필요하며 설계에 고려된 제안식은 Table 2.6과 같다.

Table 2.6 수직배수 간격 영향(F_w) 이론별 특성

제안자	제안식	특성		적용
		Smear Effect	Well Resistance	
Barron (1948)	$U_h(Th) = 1 - \exp(-8Th / F(n))$ $F(n) = \frac{n^2}{n^2-1} \ln(n) - \frac{3n^2-1}{4n^2}$	미고려	미고려	
Yoshikuni (1979)	$U_h(Th) = 1 - \exp(-8Th / F(n) + 0.8L)$ $F(n) = \frac{n^2}{n^2-1} \ln(n) - \frac{3n^2-1}{4n^2}$ $L = \frac{32}{\pi^2} \frac{k_h}{k_w} \left(\frac{H}{d_w}\right)^2 \text{ (배수저항계수)}$	미고려	고려	
Hansbo (1981)	$U_h(Th) = 1 - \exp(-8Th / F), F = F(n) + F_s + F_r$ $F(n) = \ln\left(\frac{d_e}{d_w}\right) - \frac{3}{4} = \ln(n) - 0.75$ $F_s = \left(\frac{k_h}{k_s} - 1\right) \cdot \ln\left(\frac{d_s}{d_w}\right)$ $F_r = \pi z(2H - z) \frac{k_h}{q_w}$	고려	고려	◎
Onoue (1988)	$U_h(Th) = 1 - \exp(-8Th / F(n') + 0.8L)$ $F(n') = \frac{(n')^2}{(n')^2-1} \ln(n') - \frac{3(n')^2-1}{4(n')^2}$ $n' = nS^{n-1}, n = \frac{k_h}{k_w}, S = \frac{d_s}{d_w}$ $L = \frac{32}{\pi^2} \frac{k_h}{k_w} \left(\frac{H}{d_w}\right)^2 \text{ (배수저항계수)}$	고려	고려	◎

Smear Zone의 범위는 기존문헌 및 연구보고서에 따라 차이를 나타내나, 대부분 1.5~3.0 정도이다. 하지만 연약지반 개량설계에 적용되는 Smear Zone의 범위를 크게 가정하는 경우 압밀시간이 과대평가된다. 따라서, 설계에서는 Smear Zone의 범위에 따라 압밀시간에 미치는 영향을 파악하기 위하여 조사에서 분석된 압밀정수와 Smear

Effect가 고려된 Onoue방법을 적용하여 검토하였으며, 그 결과 Smear Effect의 범위가 압밀소요시간에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단, 설계에서는 Smear Zone의 범위는 고려하지 않고 지반의 불확실성을 감안하여 안전측으로 연직배수재 타설시 수평방향 압밀계수는 Smear Zone의 영향을 고려하여 수직방향 압밀계수의 1.0배 적용되어있다. 투수계수도 Hansbo(1987) 및 Bergado(1991)가 제안한 바와 같이 교란영역의 투수계수가 원지반의 연직방향 투수계수와 같다고 가정하여 설계되어있다.

Well Resistance를 고려한 배수재의 통수능력에 있어 국·내외에서 제안된 PBD의 배수용량 범위의 경우 $0.315 \sim 50.0 \text{ cm}^2/\text{sec}$ 로 제안자 및 시험방법에 따라 많은 차이를 나타내며, 압밀진행에 따라 배수용량은 감소한다. 따라서 설계에서는 기존문헌에서 제시한 범위 및 압밀진행에 따른 배수용량의 감소, 설계상에 고려할 수 없는 요소 등을 감안하여 투수계수 $0.1 \sim 10 \text{ cm/sec}$ 에 대하여 압밀시간의 지연정도를 검토 후 PBD가 적용되어 있다. Fig. 2.7은 PBD의 투수계수에 따른 압밀도의 변화를 보여준다. 압밀검토 시 배수저항 효과를 고려하기 위해 연약층 두께 16.2m, 성토고 9.82m, PBD 간격 $2.5 \times 2.5 \text{ m}$ 인 구간을 선택 Hansbo식을 적용, 검토하였고 그 결과 PBD의 투수계수는 압밀도에 영향이 별로 없는 것으로 나타났다.

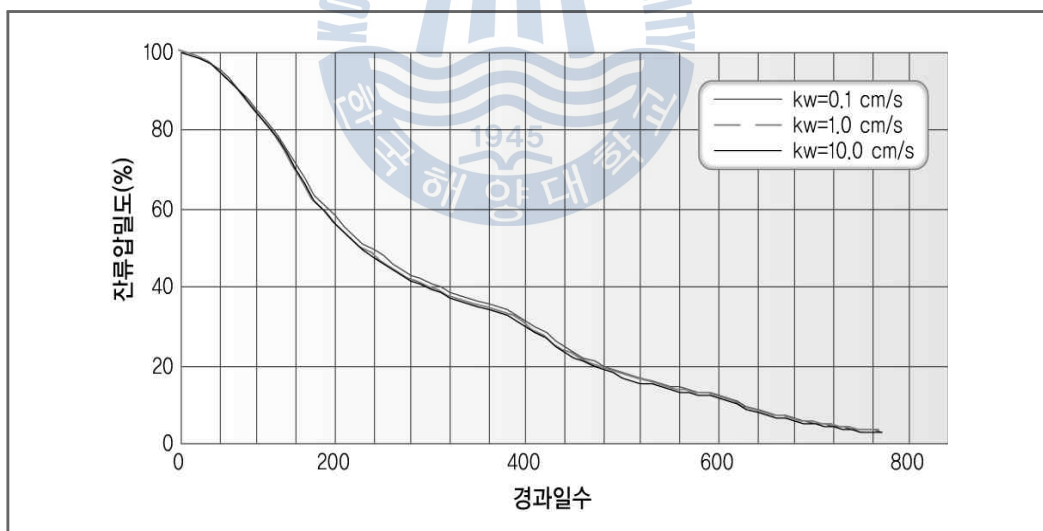


Fig. 2.7 투수능 검토(PBD)

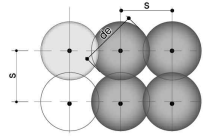
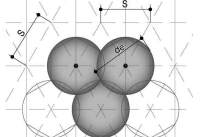
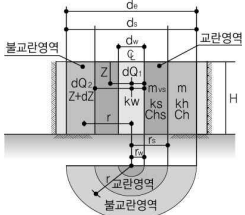
PBD와 같은 밴드 형태의 배수재는 단면이 판형이기 때문에 배수이론에 직접 적용할 수가 없어 이를 단순화하여 원형의 배수재로 환산이 필요하다. 설계에 적용된 등가 환산 직경값은 Table 2.7과 같다.

Table 2.7 PBD의 등가환산직경(d_w)

구 분	제 안 식	등가환산직경 (d_w , cm)	적 용
Hansbo(1979)	$d_w = \frac{2(a+b)}{\pi}$	6.62	
Jansen and Hoedt(1983)	$d_w = \frac{\pi}{4} \frac{2(a+b)}{\pi}$	5.20	◎
Fellenius and Castonguay(1985)	$d_w = (1.5 \sim 3.0) \times \frac{2(a+b)}{\pi}$	13.24	
Rixner(1986)	$D_w = \frac{b+t}{2}$	5.20	
Suits et al.(1986)	38~64 mm	6.40	
Park(1994)	$d_w = \frac{1.8(a+b)}{\pi}$	5.92	

수직배수재 타설 시 배열은 정삼각형과 정방형(정사각형)으로 시공할 수 있으나 정사각형 배열이 설계에 적용되었다.

Table 2.8 PBD의 영향원

구 분	사각형 배치	삼각형 배치	유효직경원(d_e)
배치형태			
영향원	$d_e = 1.128S$	$d_e = 1.05S$	
장점	• 시공성이 양호	• 유효직경이 중첩되므로 균등한 지반개량이 가능	
단점	• PBD 배치간격이 커질수록(C.T.C 2.0m이상) 지반개량효율이 저하	• 시공성 저하	

(4) 기존 고속도로 처리방안

1978년 5월 건설 당시 기존 고속도로의 경우 19.6km 중 6%에 해당하는 1.2km 구간만 페이프드레인(PVD) 공법 적용, 나머지 대부분의 구간은 연직배수재 시공에 의한 압밀축진을 실시하지 않고 MAT(Sand, 자갈) 시공 후 성토체를 구축한 관계로 공용 중 장기적이고 지속적인 압밀침하가 발생되었다.

따라서 기존도로 제체를 제거하고 압밀축진을 위한 연직배수재를 타설하는 것이 경제적으로 유리하고 잔류침하에 대한 장기적인 안정성이 확보되는 것으로 당초 설계 시 판단 Fig. 2.8, Fig. 2.9과 같이 기존고속도로 처리공법을 설계 적용하였다.

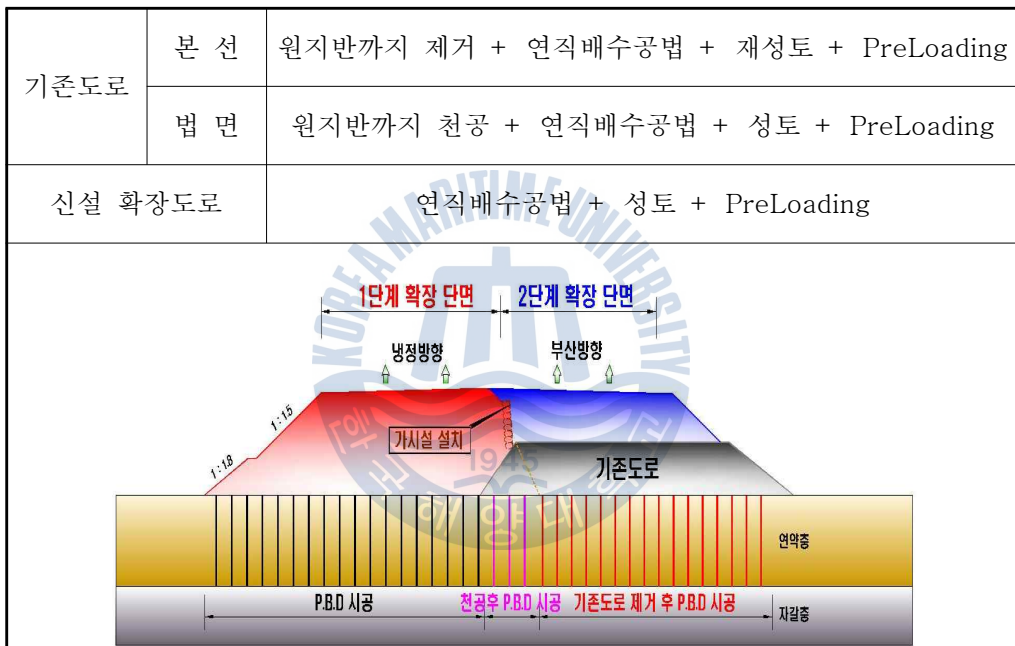
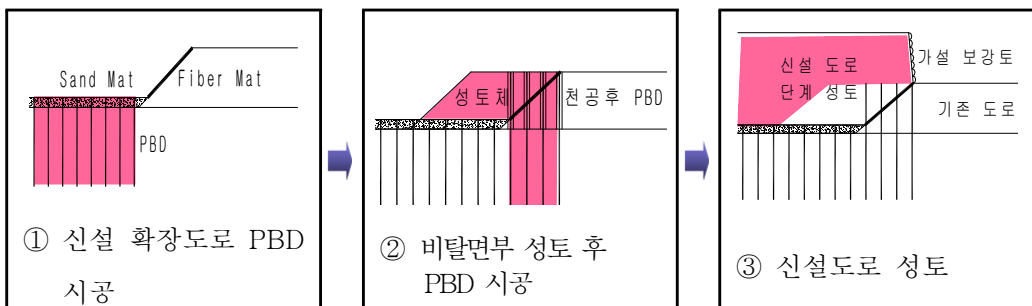


Fig. 2.8 횡단면도 및 공법적용 개요



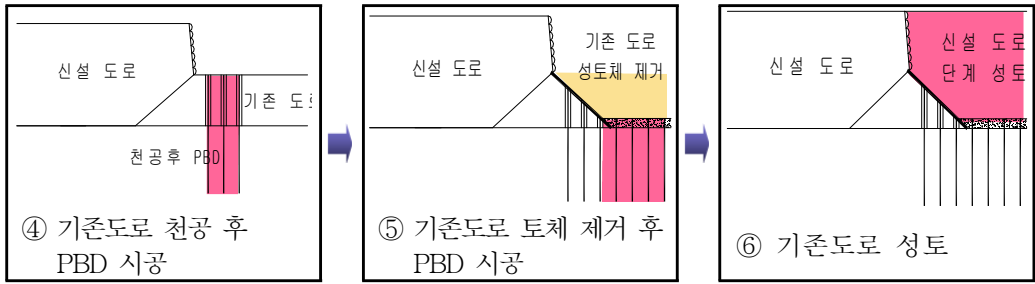


Fig. 2.9 확장 시공순서도

Table 2.9는 기존 설계에 반영된 공구별 공법적용 현황을 나타낸 것이다. 1공구의 경우 기존도로 제거 + PBD + Preloading 공법과 Preloading 공법을 병행하여 적용하였다. 4,5공구의 경우 기존도로제거 + PBD + Preloading 공법이 적용되었다.

Table 2.9 공구별 공법적용 현황

가. 『기존도로 제거 + PBD + Preloading』 공법 적용구간

구 분	STA.	연장 (m)	최대심도 (m)	기존도로 종단상향고(m)	비 고 (h:종단상향고)
계		10,045			
1공구	5+250~6+000	750	12.5	1.7~5.4	$h < 1\text{m}$ (21%)
3공구	1+150~5+200	4,050	50.8	1.2~2.5	$h < 2\text{m}$ (42%)
	(1+570~5+029 신설구간 포함)				$h < 3\text{m}$ (24%)
4공구	5+485~9+060	2,925	53	0.8~3.0	$h < 4\text{m}$ (7%)
5공구	0+000~2+320	2,320	33.2	0.6~3.2	$h \geq 4\text{m}$ (6%)

나. 『Pre - Loading』 공법 적용구간

구 분	STA.	연장 (m)	최대심도 (m)	성토고* (m)	비고
계		1,280			
1 공구	5+110~5+170	60	1.7	7.7	※ 성토고 : 종단상향고 + 침하량(침하고) + P.L(1m)
	5+980~6+000	20	5.4	5.0	
3 공구	1+000~1+150	380	3.9	5.32	
	1+570~1+800				
	4+200~5+020	820	3.4	3.26	

제 3 장 기존 설계 문제점 검토 및 조사

3.1 시공 중 예상되는 문제점

(1) 기존도로 제체 제거 후 성토에 따른 시공성 저하

설계에는 기존 고속도로를 원지반까지 제거 후 연약지반 처리공법을 적용토록 되어 있다. 하지만 1978~1981년 기존도로 건설당시 남해지선 19.76km 구간 중 약 6%에 해당하는 1.2km 구간은 연약지반처리 공법(페이퍼드레인)을 적용하고 나머지 구간은 연직배수공법 적용 없이 하부에 암버럭 등을 이용해 성토작업을 시행한 것으로 확인(Fig. 3.1)됨에 따라 기존도로 건설당시 및 도로 공용 중 원지반 하부로 침하된 암버럭으로 인해 금번 확장공사 시 연직배수제 시공을 위한 암버럭 제거 애로 및 기존도로 제체 제거토의 적재장소, 운반로 미비 등 시공성이 극히 불량 할 것으로 예상된다.

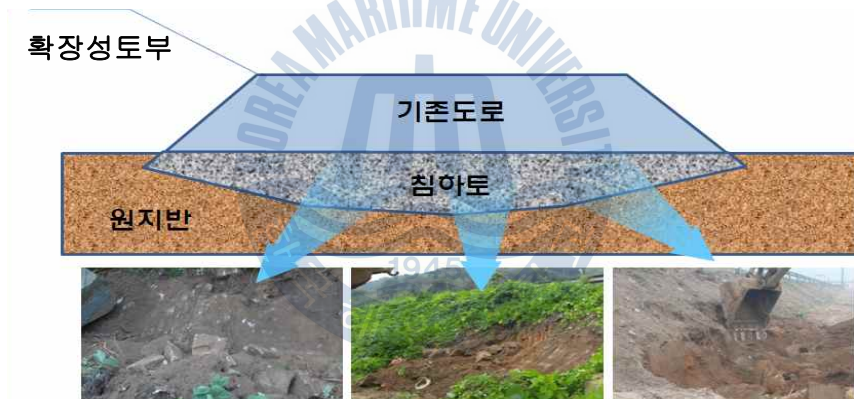


Fig 3.1 기존고속도로 법면 현장확인 결과

(2) 기존도로 하부 PBD 시공 시 별도의 천공작업 수반으로 사업비 증액

남해지선의 현 설계 침하량이 최대 5.4m로서 1978년 건설당시도 원지반 아래로 현 설계 수준의 침하토가 발생된 것으로 추정되는데, 원지반 아래 침하된 암버럭 및 조립질 재료의 저항으로 일반적인 PBD 시공이 불가하여 별도의 천공굴착 시공이 필요하며, 이에 따른 시공지연 및 사업비 증액(6억/침하토 1m천공)이 필요하다.

(3) 안정된 기존도로를 제거 후 PBD 시공 시 지반교란에 따른 위험요소 증가

기존도로 제체를 제거 후 연약지반처리공법(PBD) 시공 시 지반교란으로 인한 연동

침하 등 지반안정화 저해요인이 발생되나 기존고속도로 제체 제거작업 없이 기존 포장체 위에 성토를 시행 할 경우 1981년 준공이후 28년 동안에 걸쳐 안정화된 포장체의 강성으로 인해 상부 재하하중 분산 효과 등을 기대 할 수 있다.

(4) 기존도로 법면부 천공 PBD공법 시공성 저하

기존도로 법면부 천공 PBD 공법은 천공시간에 따른 공기 과다 소요, 인접공 시공에 따른 공벽붕괴 및 재천공, 관입공에 대한 별도의 공내충진작업 등 시공성 저하로 공사지연이 예상된다.

(5) 기존도로 제거 시 페아스콘 처리 등에 따른 사업비 증액 예상

코어채취를 통해 확인한 덧씌움 포장 두께확인을 시행한 결과 교대부의 경우 장기간에 걸친 침하부 덧씌우기포장(Overlay)으로 아스콘 두께가 1~1.5m에 달해 기존도로 제거 시 발생하는 페 아스콘 처리에 따른 사업비 증액요인이 발생한다.

Fig. 3.2는 통상적으로 덧씌움 포장이 주로 교대접속부(뒷채움부) 약 50m 이내 구간에서 이루어지며, 코어 채취시 차단에 따른 교통지정체를 감안 교대 인접 갓길에서 채취된 코어의 예이다.



Fig. 3.2 채취된 코어 예

(6) 복합공종 다단계 시공에 따른 공기부족

착공 초기는 민원 및 용지 협의매수 지연 등으로 연약지반 처리작업을 적기에 착수할 수 없는 실정이며, “기존도로 제거 후 PBD 시공”과 같은 복합공종의 다단계 작업 시행 시 연약지반처리 공기 부족이 예상된다. 참고로 1996년 준공된 남해선의 경우 확장 및 기존도로 두구간의 연약지반 처리를 위한 공기 24개월을 설계 반영하였으나, 착공 후 확장구간 처리에만 24개월 이상 소요되어 기존도로 구간 연약지반 처리 공기 부족으로 공법변경을 시행 (기존도로 “천공+Sand Drain” ⇒ 무처리)한 바 있다

(7) 유지관리 실태 및 과거 시공사례 등 경험적 사항들을 고려치 않은 설계 적용으로 시공성, 경제성 저하

1991 ~ 1996년 남해고속도로 확장공사 시 설계변경 후 기존도로를 무처리 한 사례가 있으나 이에 대한 검토가 부족한 것으로 판단되며, 또한 총 침하량을 억제할 수 있는 시공방안에 대해 상세 현장조사 및 검토 또한 부족한 것으로 판단된다

Table. 3.1 기존 남해고속도로 연약지반 처리 사례 현황(서김해 ~ 부산종점 구간)

구 간	연장	부산방향 (신설확장)	순천방향 (기존도로)	비고
소 계	13.9km			
주촌교 ~ 서김해C ~ 동김해C ~ 불암육교	8.6km	Sand Drain	무처리	분리간
불암육교 ~ 북부산(영) ~ 대저JCT 종점	4.8km	무처리		
대저JCT 종점 ~ 구포낙동강교	0.5km	Sand Drain		

(8) 연약지반 침하 특성 미반영

냉정~부산간 고속도로 확장공사의 경우 구간별로 연약지반 심도 차이(0~53m)가 있음에도 불구하고 허용잔류침하량이 일괄 10cm로 적용되어 있다. 하지만 연약지반 하부의 지반조건과 교통상황 등에 따라 나타나는 문제점과 현상이 상이하므로 동일한 기준에 따라 동일한 수준의 노력을 투입하는 것은 비효율적인 것으로 판단된다.

Table 3.2는 연약층 두께 50m, 총 침하량 450cm 가정 시 잔류침하량 10cm 만족을 위해서는 주어진 공기 내 압밀도 98% 이상의 압밀처리가 필요한 것을 보여주며, 이 경우 과도한 연약지반 처리 공사비 소요될 것을 예상할 수 있다.

Table. 3.2 지반조건에 따른 침하특성(예)

연약층 심도	총 침하량	목표침하량	잔류침하량	압밀도
10m	140cm	130cm	10cm	92%
50m	450cm	440cm	10cm	98%

(9) “포장공사 완료 후 노면요철 10cm이하”를 준용하여 허용잔류침하량을 10cm로 규정하였으나 설계 시에는 토공 방치기간 이후부터 발생하는 침하량을 허용잔류침하량으로 산정

방치기간 이후부터 포장완료시까지 최소 6개월 이상의 공사기간(방치기간 이후 여성토 제거, 방음벽, 배수시설 등 부대시설, 포장 등에 공사기간 소요)이 소요되므로 이에 따른 침하량 감안이 필요하다.

(10) 허용잔류침하량 적용기준 상이

타 현장 및 타 기관과 비교해 본 결과 허용잔류침하량 설계적용 기준 상이하며, 도로설계요령에는 “도로의 경우 포장공사 완료후의 노면 요철 조건으로써 10cm로 적용하되, 사용목적, 중요도, 지반특성, 공사기간 등 시공성 및 경제성 등을 따라 검토 후 적용” 토록 명시되어 있어 지반특성, 시공성 및 경제성 등을 감안 조정 필요 할 것으로 판단된다.

Table. 3.3 한국도로공사 허용잔류침하량 설계기준(도로설계요령, 2002)

조 건	허용잔류침하량 (cm)
포장공사 완료후의 노면 요철	10.0
Box Culvert 시공시의 더울림시	30.0
배수시설	15.0~30.0

Table. 3.4 타 기관 허용잔류침하량 적용 현황

구 분	도 로				배수암거
허용잔류침하량(cm)	15	20	30	50~100	30
적용 기관(현장)	한국도로공사 인천제2연육교	녹산1단계/ 아산공장	광양제철소/ 고베항	하네다공항 (운영후50년간)	한국도로공사/ 녹산1단계

(11) 연약지반(토공부) 도로 침하 시 종단곡선 유지

한국도로공사 도로교통연구원의 『연약지반 구간 고속도로 유지관리 대책수립(Ⅱ)』에 의하면 공용중인 도로의 현재 침하된 종단과 준공 Design Level에 대한 비교 결과 교량부 등 일부 PILE 기초로 시공된 구조물 구간을 제외한 토공부의 경우 준공 당시 종단경사를 유지한 침하 경향을 보이고 있다.

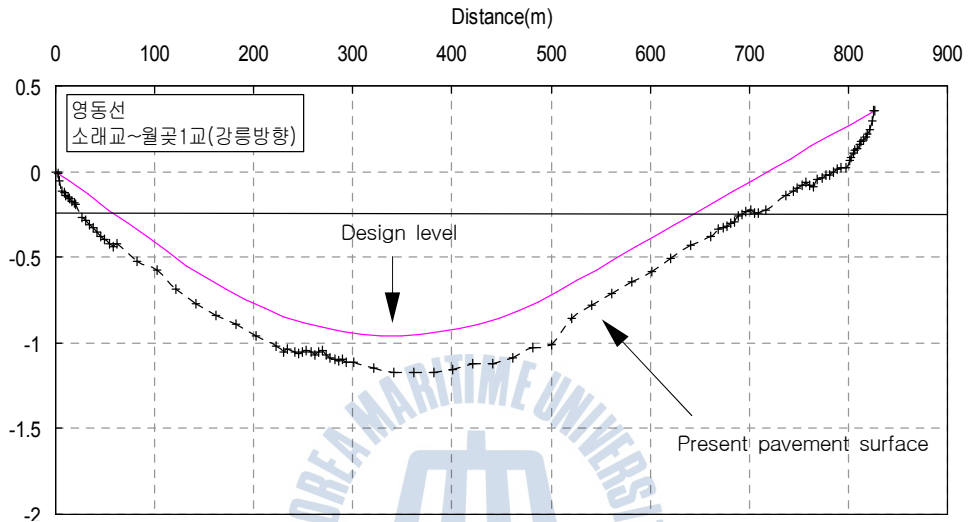


Fig. 3.3 영동선(강릉방향) 소래교~월곶1교 침하현황

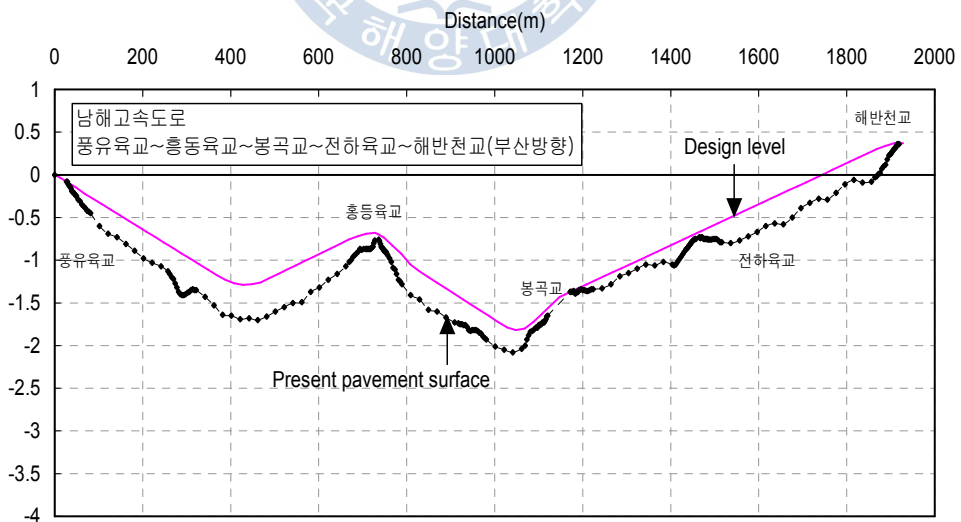


Fig. 3.4 남해선(부산방향) 풍유육교~해반천교 침하현황

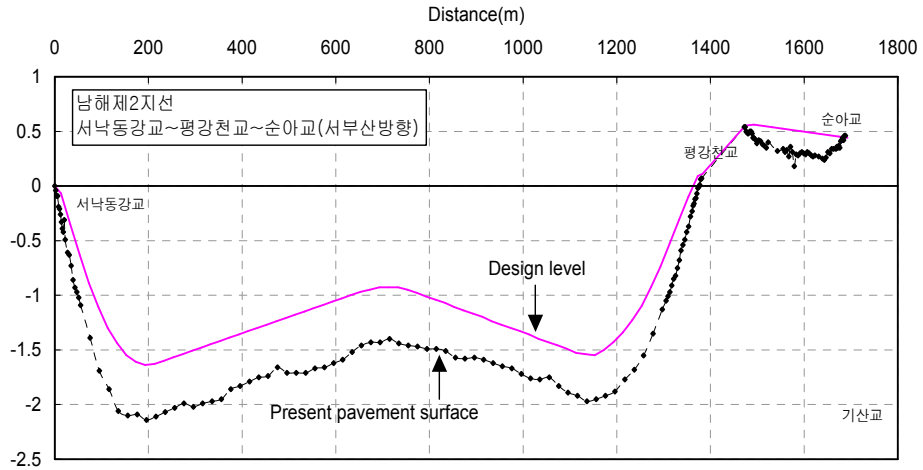


Fig. 3.5 남해제2지선(서부산방향) 서낙동강교~순아교 침하현황

(12) 연약지반 포장 보수 비율 일반구간과 유사

1996년 준공 후 현재까지 운영 중인 남해고속도로 냉정 ~ 부산 구간의 경우 2008년까지 연약지반 구간과 일반구간의 포장보수율이 유사하며, 남해고속도로 제2지선의 경우 최근 10년 이상 덧씌우기 포장을 미 실시(교량 뒷채움부 제외, Fig 3.6 참조)한 상태로 운영 중이다.

Table. 3.5 국내 고속도로 본선 침하량 발생 현황

구 간 (침하 관측기간)	서해안선 (6년)	남해선 (12년)	남해2지선 (23년)	영동선 (10년)
공용 후 평균 침하량(cm)	5 ~ 25	35 ~ 42	31 ~ 65 (공용초기 계측 미 실시)	20 ~ 38

남해고속도로 제2지선 본선 토공부에 대하여 2010년 3월부터 6월까지 500m 간격으로 기존도로 포장 두께에 대한 코어채취를 통한 현장조사 결과 1981년 준공 이후 조사일 현재까지 발생침하량과 달리 총 0~1회(0~5cm) 덧씌우기 포장이 실시되

있음을 확인할 수 있었다(구조물 뒷채움부 제외). 참고로 남해고속도로 제2지선의 경우 포장형식은 하부 콘크리트 포장(두께 : 25cm) 시행한 후 상부에 아스콘 포장(두께 : 5cm)이 시행되어 있다.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Fig. 3.6 남해고속도로 제2지선 포장 코어채취

3.2 현황 조사 분석

3.2.1 남해고속도로 일반구간/연약지반 포장 보수현황 조사 분석

연약 지반과 일반구간의 비교를 통해 연약지반의 특수성에 의한 포장보수 발생 여부 및 남해선 구간 포장 수명을 확인코자 일반구간과 연약지반구간에 대하여 동일시기 (1996년)에 준공한 남해선 냉정JCT ~ 부산 종점 구간을 선정(Table 3.6, 남해고속도로 제2지선의 경우에는 최근 10년 이상 덧씌우기 포장을 실시하지 않은 관계로 관련자료 없음), 먼저 1998년부터 2005년 까지 교통량 현황(Fig 3.7)을 조사하였으며, 냉정 JCT ~ 부산(구포) 종점 구간에 대하여 일반구간과 연약지반 구간으로 구분 1996년 준공 이후 2008년 까지 남해선에 대한 도로 공용 중 포장 보수현황을 분석(Fig. 3.8, Table 3.7)하였다 .

Fig. 3.7의 경우 1996년 준공 후 2000년 까지 교통량의 급진적 증가 추세를 보이고 있으며, 2003년 이후 완만한 증가 추세를 나타낸다. 특히 교통재분석보고서(한국도로공사 2008 p143)에 의하면 교통량이 동김해 ~ 대저 구간에서 최대 8% 증가한 것으로 나타난다.

Table. 3.6 비교대상 구간 현황

구분	일반구간	연약지반 구간
위치	냉정JCT ~ 서김해IC(4km)	서김해IC ~ 구포 종점(15km)
현황	<ul style="list-style-type: none"> • 96년 확장공사 준공 	<ul style="list-style-type: none"> • 96년 확장공사 준공 • 연약지반 심도 : 최대 30m ※ 상부 사질토층 존재(4,5공구와 유사)

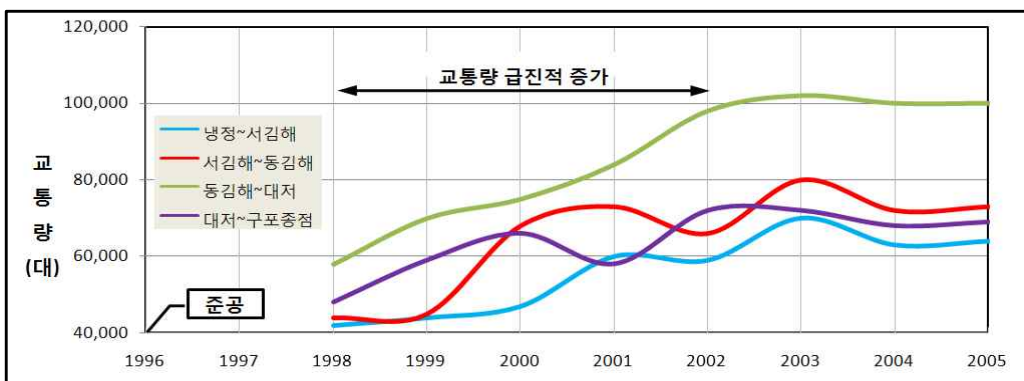


Fig. 3.7 남해선 교통량(대/일) 현황(1998년 ~ 2005년)(2008 교통재분석보고서)

Fig 3.8은 남해선(냉정 ~구포간) 포장보수 공사 시행 현황을 도식화 한 것으로 남해선 구간 중 냉정~구포 구간을 냉정분기점에서 서김해IC, 서김해IC에서 동김해 IC, 동김해IC에서 대저분기점, 대저분기점에서 구포종점구간으로 구분한 후 각방향 (부산방향, 순천방향)별 주행선, 추월선에 대하여 1996년부터 2008년까지 한국도로 공사 경남지역본부의 포장보수공사 준공 도서를 기준하여 포장보수 실적을 도식화 한 것이다

참고로 Fig. 3.8의 이정(STA.) 150km 지점에서 150.2km(200m 구간)을 예를 들면 2002년도에 부산방향 주, 추월선에 대하여만 포장보수가 이루어 진 것을 알 수 있으며 151km에서 151.2km 구간(200m)의 경우에는 순천방향은 99년, 05년에 포장보수를 부산방향의 경우에는 04년에 주, 추월선에 대한 포장보수가 이루어 졌 으며 보수 주기는 순천방향의 경우 준공(1996년)이후 최초 3년뒤인 99년, 그후 6년 뒤인 05년에 포장보수가 이루어졌고, 부산방향의 경우 준공이후 8년뒤 포장보수가 이루어 졌음을 알 수 있는 등 Fig 3.8을 통해 포장보수 위치, 시기, 빈도(주기)등을 알 수 있다



Fig. 3.8 남해선(냉정 ~ 부산) 구간 포장 덧씌우기 시행 도식(예)

남해선(냉정~구포간) 포장보수(주행선) 도식

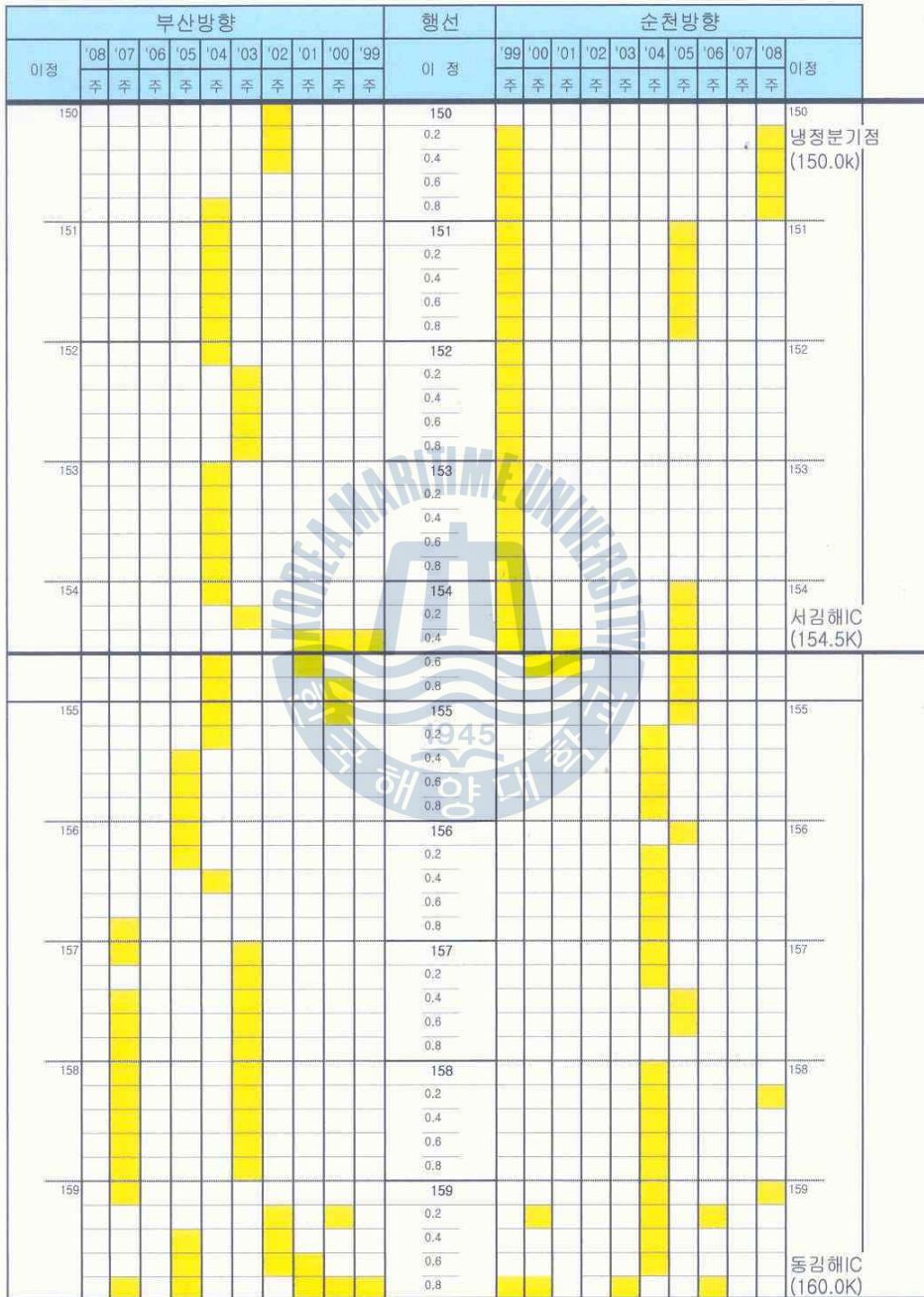


Fig. 3.8 남해선(냉정 ~ 부산) 구간 포장 덧씌우기 시행 도식

남해선(냉정~구포간) 포장보수(주행선) 도식

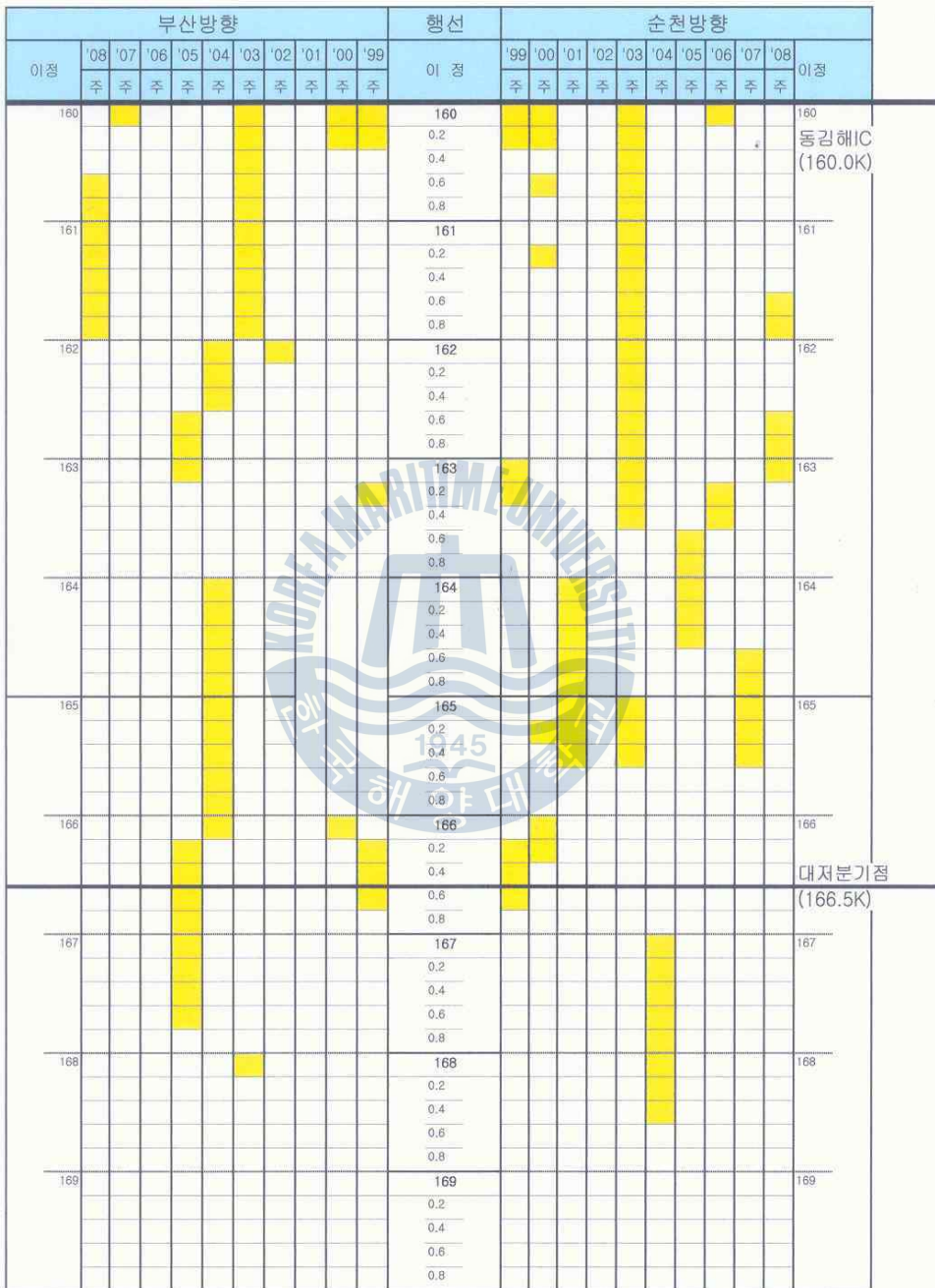


Fig. 3.8 남해선(냉정 ~ 부산) 구간 포장 덧씌우기 시행 도식(계속)

2

151	152	153	154
155	156	157	158
159	160	161	162
163	164	165	166

남해선(냉정~구포간) 포장보수(추월선) 도식

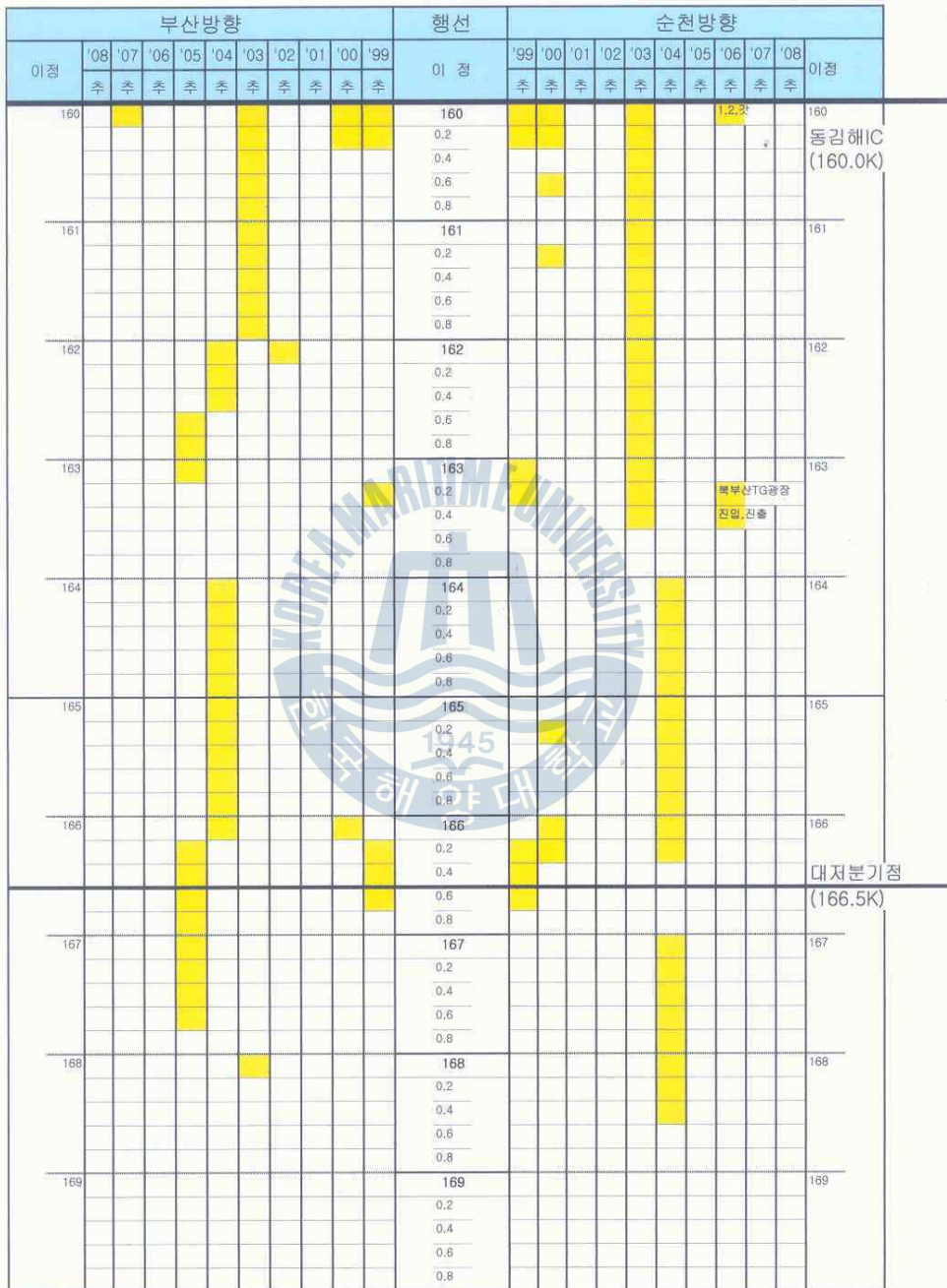


Fig. 3.8 남해선(냉정 ~ 부산) 구간 포장 덧씌우기 시행 도식(계속)

Fig. 3.8의 포장 덧씌우기 시행 실적을 일반구간과 연약지반 구간으로 구분하여 남해선 준공이후 보수 빈도(보수주기)와 보수면적으로 다시 정리를 하면 Table 3.7과 같다.

Table 3.7 남해고속도로 아스팔트 포장 보수 빈도(주기) 비교

구간	방향	AADT (08년)	보수주기(년)			보수면적 (주행/추월)
			준공이후	주행선	추월선	
냉정JCT ~ 서김해IC 4km (일반구간)	부산	28,217	3년이하	0%	0%	13,680 /13,680
			3 ~ 5년	16%	16%	
			5년이상	84%	84%	
	순천	30,967	3년이하	68%	51%	20,160 /26,640
			3 ~ 5년	0%	0%	
			5년이상	32%	49%	
서김해IC ~ 동김해IC 6km (연약지반)	부산	33,271	3년이하	26%	31%	36,720 /25,200
			3 ~ 5년	35%	26%	
			5년이상	39%	43%	
	순천	36,954	3년이하	24%	29%	30,240 /30,240
			3 ~ 5년	17%	12%	
			5년이상	59%	59%	
동김해IC ~ 대저JCT 6km (연약지반)	부산	46,657	3년이하	20%	24%	28,800 /23,760
			3 ~ 5년	22%	6%	
			5년이상	58%	70%	
	순천	47,714	3년이하	30%	33%	40,320 /28,800
			3 ~ 5년	41%	15%	
			5년이상	29%	52%	
대저JCT ~ 종점 3km (연약지반)	부산	37,253	3년이하	21%	21%	10,080 /10,080
			3 ~ 5년	14%	14%	
			5년이상	65%	65%	
	순천	27,782	3년이하	31%	27%	9,360 /10,800
			3 ~ 5년	8%	20%	
			5년이상	61%	53%	

일반구간과 연약지반의 포장 보수율을 비교해 보면 Table 3.8과 같으며 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

Table. 3.8 보수현황 비교(Fig. 3.8, tabel 3.7 참조)

구 분	일반구간(4km)	연약지반(15km)
‘97년 이후 12년간 보수면적	74,160m ²	284,400m ²
포장면적 대비 보수비율	129%	132%

일반구간과 연약지반 구간에 대한 보수 빈도를 비교해 보면 Table 3.9와 같으며, 연약지반 구간이 5년 이내 초기 보수율이 조금 높은 편임(+6%)을 알 수 있다.

Table. 3.9 기간별 보수율 비교(Fig. 3.8, tabel 3.7 참조)

보수빈도(주기)	일반구간			연약지반		
	3년이하	3 ~ 5년	5년이상	3년이하	3 ~ 5년	5년이상
보수율	37%	6%	57%	27%	22%	51%

Table 3.10에서는 주행선이 추월선보다 포장 보수 비율이 조금 상위함을 알 수 있다.

Table. 3.10 중차량 통행에 따른 포장 보수 비교

구 분	주행선	추월선
보수면적	189,360m ²	169,200m ²
보수율	주행선이 추월선 보다 약 6% 상위 ※남해선 중차량 : 21.73% (2008.4 교통재분석보고서 P149)	

2008년도 교통량 대비 포장보수 실적을 비교(Fig. 3.9, Fig. 3.10)해 보면 연약지반 처리를 한 부산방향에 비해 기존도로 하부 연약지반 처리를 시행하지 않은 순천방향이 교통량 증감에 비교적 비례적으로 포장 보수 시행이 이루어진 것으로 나타나며(Fig. 3.9), 특히 Fig. 3.9에서 서김해 ~ 동김해 구간의 경우 방향별 교통량은 순

천방향이 많으나 포장보수 실적은 부산방향(과거 연약지반 처리 구간)이 순천방향 보다 많이 발생한 것으로 나타났다.

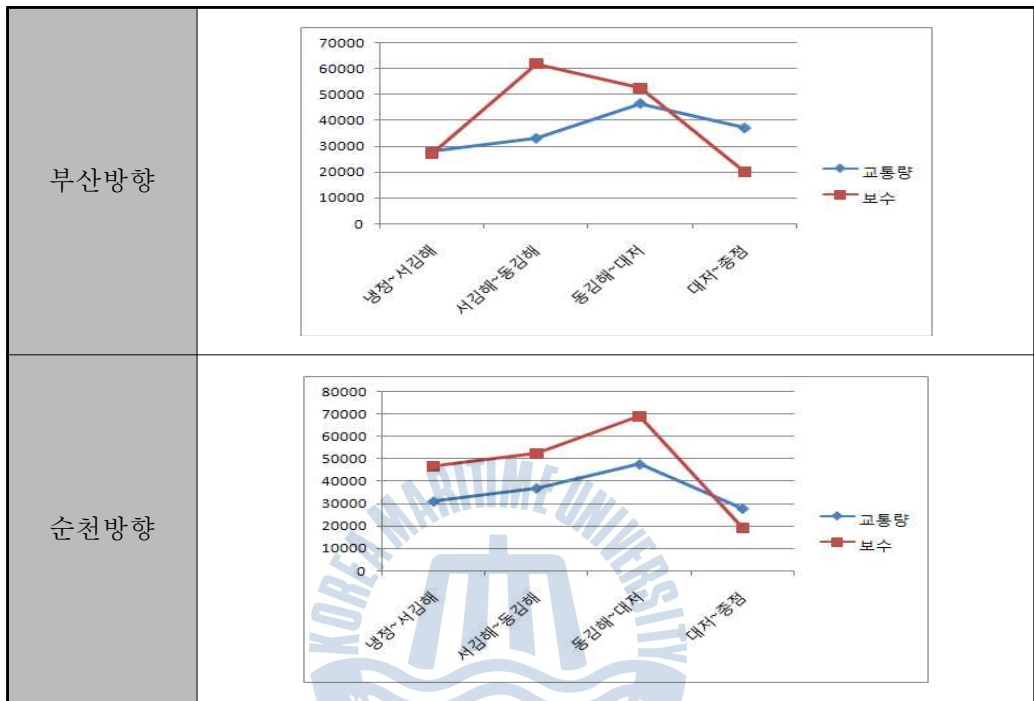
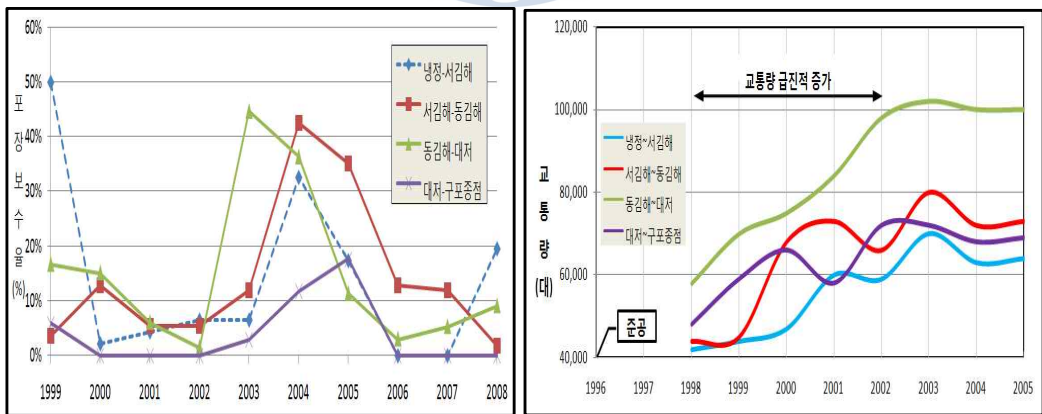


Fig. 3.9 2008년 교통량 대비 포장보수 현황



(a) 포장보수율

(b) 교통량

Fig. 3.10 1999~2008년 남해선 포장보수율과 교통량 현황

약 12년의 비교적 짧은 기간에 대한 포장 보수 현황을 비교하여 자료의 대표성은 적지만, 조사된 자료만을 참조할 때 2002년까지 급진적인 교통량 증가추세와 '03년~'04년까지 3년 동안 포장보수가 50%~70%정도 집중 된 점을 고려할 때 대부분의 포장 보수가 연약지반의 부등침하 또는 잔류 침하에 의한 연관성 보다는 남해선 교통량 증가 등에 따른 포장 수명 저하 등에 기인하는 보수로 판단된다. 5년 이내 보수율은 연약지반이 일반구간에 비해 조금 높은 편이지만 3년 이내의 보수율은 오히려 일반구간이 높게 발생하고 있는 점, 전체 면적 대비 보수율은 연약지반과 일반구간과의 차이가 미미하게 나타나는 점 등을 볼 때, 대부분의 포장 보수가 연약지반의 부등침하 또는 잔류 침하에 의한 연관성 보다는 남해선 교통량 증가 및 시공 시 품질 소홀 등에 따른 포장 수명 저하 등에 기인하는 보수로 판단된다.



3.2.2 연약지반 처리공법 적용 유무에 따른 포장보수 현황 비교

1996년 준공한 남해고속도로 냉정JCT ~ 부산(구포)중점 구간 중 방향별 연약지반 처리공법이 달리 적용된 서김해 ~ 동김해 구간에 대하여 연약지반 처리공법 적용 유무에 따른 1997년부터 2008년도 까지 포장 보수 현황(Table 3.11)을 비교 분석하였다.

Table. 3.11 남해고속도로 서김해 ~ 동김해 구간 포장보수 현황

구 분		서김해 ~ 동김해	
		순천방향(기존도로)	부산방향(신설확장)
연약지반처리공법 적용		미적용	적용(Sand Drain)
교통량(08년) 대/일		36,954	33,271
연 장 (4차로 환산연장)		6km (3km)	6km (3km)
포장 보수 면적	보수 면적 (전체면적대비)	60,480m ² (140%)	61,920m ² (143%)
	km 당(4차로)	20,160m ² /km	20,633m ² /km
	교통량 대비	1.63m ² /대/일	1.86m ² /대/일
보수 주기	3년 이내	26%	28%
	3 ~ 5년	14%	31%
	5년 이상	60%	41%

남해고속도로 확장 준공(96년) 이후 현재까지 문제점 발생(잔류침하 또는 부등침하)으로 인한 전반적인 포장보수 등 처리실적 없으며, 교량 접속부만 도로 평탄성 확보를 위해 절삭 및 덧씌우기 포장이 이루어져 왔다. 포장보수 실적은 연약지반 처리공법 적용 또는 무처리 여부에 큰 차이 없는 것으로 판단된다.

또한 교통량 대비 포장보수 시행 실적 비교 시 연약지반 처리공법 미적용 구간이 적용구간 보다 적은 것으로 나타난 것을 볼 때 시공당시 포장의 품질 상태에 기인한 포장보수가 이루어진 것으로 판단된다.

3.2.3 남해선 교량 뒷채움부 침하 현황 조사

남해고속도로 교량 뒷채움부에 대한 침하량 현장조사 결과(Table 3.12) 평균 29.1 ~ 32.8cm으로 나타났으며, 서김해IC~홍동육교, 어방교~신어천교 구간의 경우는 고속도로 개통 후 주변 신규도로가 개설 됨에 따라 타 지역에 비해 침하량이 크게 발생된 것으로 판단된다.

Table. 3.12 교량 뒷채움부 침하 현황 조사 결과

구 간	구조물명	방향	뒷 채움부	침하량 (cm)	부 산방향		순천방향	
					최고	평균	최고	평균
전 체					58.2	29.1	77.9	32.8
서김해 ~ 불암1육교 구간 (7.8km)	소계				58.2	32.3	77.9	36.8
	주촌교	부산	A1	41.4				
			A2	32.2				
		순천	A1	29.9				
			A2	34.6				
	서김해IC 1육교	부산	A1	38.4				
			A2	41.7				
		순천	A2	49.7				
			A1	48.8				
	서김해IC 2육교	부산	A1	54.5				
			A2	50.5				
		순천	A1	77.9				
			A2	52.4				
	풍유육교	부산	A1	38.6				
			A2	52.2				
		순천	A2	23.9				
			A1	37.9				
	홍동육교	순천	A1	29.1				
			A2	35.7				
		부산	A1	37.3				
			A2	29.3				

Table. 3.12 교량 뒷채움부 침하 현황 조사 결과(계속)

구 간	구조물명	방향	뒷 채움부	침하량 (cm)	부산방향		순천방향	
					최고	평균	최고	평균
서김해 ~ 불암1육교 구간 (7.8km)	봉곡교	부산	A1	7.7	58.2	32.3	77.9	36.8
			A2	8.1				
		순천	A2	23.0				
			A1	18.4				
	전하육교	부산	A1	20.8				
			A2	16.8				
		순천	A1	26.7				
			A2	37.9				
	해반천교	부산	A1	18.8				
			A2	28.9				
		순천	A2	24.9				
			A1	18.4				
	김해육교	순천	A1	19.3				
			A2	29.4				
		부산	A1	29.7				
			A2	23.5				
	삼정육교	부산	A1	14.7				
			A2	24.3				
		순천	A2	27.1				
			A1	29.8				
	삼정교	부산	A1	25.8				
			A2	24.4				
		순천	A1	24.3				
			A2	34.9				

Table. 3.12 교량 뒷채움부 침하 현황 조사 결과(계속)

구 간	구조물명	방향	뒷 채움부	침하량 (cm)	부산방향		순천방향	
					최고	평균	최고	평균
서김해 ~ 불암1육교 구간 (7.8km)	어방교	부산	A1	58.2	58.2	32.3	77.9	36.8
			A2	34.7				
		순천	A2	47.6				
			A1	60.7				
	김해IC육교	부산	A1	36.3				
			A2	58.2				
		순천	A1	62.6				
			A2	42.6				
	신어천교	부산	A1	43.4				
			A2	41.9				
		순천	A2	45.9				
			A1	51.1				
	안동교	부산	A1	17.5				
			A2	26.5				
		순천	A1	21.0				
			A2	31.0				
불암1육교 ~ 대저분기점 구간 (4.5km)	소 계				22.6	13.6	33.4	15.5
	불암1육교	부산	A1	9.5				
			A2	8.2				
		순천	A2	9.8				
			A1	7.7				
	불암2육교	부산	A1	9.4				
			A2	8.6				
		순천	A1	7.2				
			A2	8.4				

Table. 3.12 교량 뒷채움부 침하 현황 조사 결과(계속)

구 간	구조물명	방향	뒷 채움부	침하량 (cm)	부산방향		순천방향	
					최고	평균	최고	평균
불암1육교 ~ 대저분기점 구간 (4.5km)	불암교	부산	A1	13.9	22.6	13.6	33.4	15.5
			A2	9.9				
		순천	A2	9.4				
			A1	11.0				
	대사1육교	부산	A1	14.7				
			A2	12.3				
		순천	A1	19.8				
			A2	18.8				
	대사교	부산	A1	18.7				
			A2	18.6				
		순천	A2	19.4				
			A1	33.4				
	대사2육교	부산	A1	16.9				
			A2	22.6				
		순천	A1	22.6				
			A2	18.2				
대저분기점 ~ 구포낙동강교 구간	소 계				65.1	41.4	59.8	46.3
	대지교	부산	A1	51.2				
			A2	65.1				
		순천	A2	56.8				
			A1	59.8				
	대지육교	부산	A1	24.8				
			A2	42.5				
		순천	A1	46.3				
			A2	29.6				

Table. 3.12 교량 뒷채움부 침하 현황 조사 결과(계속)

구 간	구조물명	방향	뒷 채움부	침하량 (cm)	부산방향		순천방향	
					최고	평균	최고	평균
대저분기점 ~ 구포낙동강교 구간	대저교	부산	A1	32.3	65.1	41.4	59.8	46.3
			A2	37.0				
		순천	A2	53.2				
			A1	28.6				
	출두교	부산	A1	36.2				
			A2	41.8				
		순천	A1	53.3				
			A2	42.9				

3.2.4 연약지반 재하이력 차이에 의한 불균등 침하 사례 조사

확장공사구간의 특성상 교통전환과 더불어 성토작업이 이루어지므로 확장부와 기존도로부의 교통전환에 따른 성토재하 이력 차이에 의한 잔류침하량 및 침하속도 차이발생으로 도로 중앙분리대 구간에서 단차와 종방향 균열이 발생되고 있으며 발생사례는 Fig. 3.11과 같다.



(a)



(b)

Fig. 3.11 중앙부 부등침하 및 종방향 균열 발생 전경(동김해 IC 주변)

3.2.5 인근 00현장 피해발생 사례조사 및 자료수집

남해고속도로 제2지선 인근 현장의 연약지반 공사 중 실패사례 조사 및 분석을 시행한 결과 다수의 활동 및 전단파괴가 발생된 것을 확인할 수 있었으며, 이는 PBD 간격조밀에 따른 지반 교란이 많이 발생된 점, 강도증가율이 당초 설계에 못 미치는 점, 점토지반의 전단강도 값이 목표에 이르지 못한 점 등의 원인에 기인하여 발생 한 것으로 판단되었다. 또한 이에 따라 현장에서는 당초 설계보다 성토 횡수별 한계성토고를 하향하여 2 ~ 3M로 조정하였으며 한계성토고 하향조정에 따라 공사기간(방치기간)이 당초 36개월에서 44개월 이상으로 연장된 것을 확인 할 수 있었다.

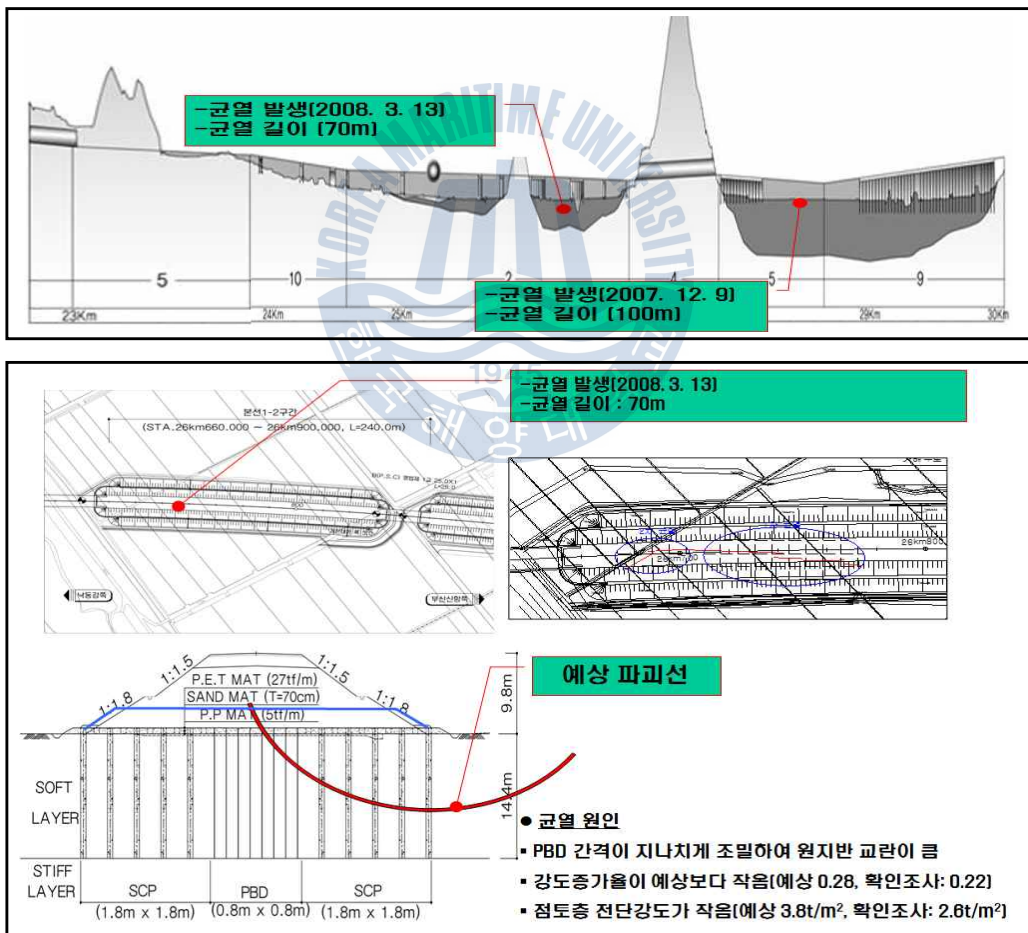


Fig. 3.12 인근현장 피해발생 현황도

아래 Fig. 3.13은 남해고속도로 제2지선 인근의 00현장 성토면에 발생한 균열발생 사진((a) ~ (d))과 주변 농경지 허빙 발생 사진((e) ~ (f))이다



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Fig. 3.13 균열발생 및 주변 농경지 허빙 전경

3.2.6 기타 시공 중 연약지반 피해 발생 사례

아래 Fig. 3.14는 연약지반 공사 중 발생한 전단파괴 및 주변 농경지 허빙 사례이다.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Fig. 3.14 공사 중 발생한 피해 사례

제 4 장 설계 개선방안 검토

4.1 착안사항

4.1.1 개선 방향 수립

앞서 언급된 여러 문제점에 대한 해소를 위해서는 먼저 현 설계에 대한 개선방향을 수립한 후 개선방향에 대한 적정성 확인의 절차를 거쳐 개선방안을 확정할 필요가 있다.

즉, 당초설계인 최소 종단경사 0.5%를 유지한 상태에서 확장 및 교통전환을 위해 고속도로 양방향(부산방향과 순천방향)을 접합하여 종단을 상향한 후 확폭하는 확장방안, 공사기간 1500일 이내 잔류침하 10cm 만족을 위해 기존도로 제체를 제거하고 연약지반을 처리 한 후 다시 성토 및 프리로딩(P.L)을 시행하는 기존도로 처리방안 등 당초설계에 대한 여러 문제점 해소가 필요하다. 이에 따라 종단상향 억제 및 중앙분리대 양방향 분리, 기존도로 무처리와 더불어 필요 시 프리로딩(P.L)에 의한 장기적 침하를 유도할 수 있는 방향으로 개선방향을 수립하는 것이 필요하다.

Table 4.1 설계 개선 방향

당 초 설 계	개선방향
기존도로 성토체 제거 + PBD + 프리로딩(P.L) ⇒ 공기 중 잔류침하 만족	기존도로 무처리 + 프리로딩(P.L) ⇒ 장기적 침하 유도
종단상향 조정 및 양방향 접합	종단상향 억제 및 중앙분리대 양방향 분리

4.1.2 개선방향에 대한 사례조사 및 분석

(1) 남해고속도로 확장 시 연약지반 무처리구간 침하결과 사례분석

1992 ~ 1994년 남해고속도로 확장공사 당시 기존도로부에 대한 연약지반 처리공법 선정을 위한 시험시공(설계종단 유지) 결과(Table 4.2)를 보면 연약지반처리 공법 적용여부에 따른 침하량 차이는 7%로 차이가 미소하게 발생된 걸 알 수 있다. 따라서 기존도로부에 추가 성토를 통한 설계종단을 유지(기존도로보다 종단을 상향 조정)한 남해고속도로와 달리 현 설계 보다 종단을 하향조정을 통한 총 침하량을 줄인 후 연약

지반 처리공법을 무처리 공법으로 변경 적용 할 경우 과도한 잔류침하량 차이가 발생 되지 않을 것으로 판단된다.

Table 4.2 1996년 준공한 남해선 시험시공 결과(중단은 설계중단 유지)

위 치	지반처리	시험시공 결과(cm)	
		설계 침하량	실 침하량 (설계대비 침하율)
7+300 ~ 7+430	기준도로 제거 + Sand Drain(2×2)	184	64 (35%)
7+430 ~ 7+560	무 처 리		52 (28%)

(2) 허용잔류침하량 기준

일본 도로공단의 경우(Table 4.3) 연약지반 침도에 따라 허용잔류침하량 기준을 차별하여 설계에 적용하고 있다.

『부산 신항 항만단지의 침하관리와 기초설계』에서 김상규(2003)는 “허용침하량을 정하는데 있어서 이 값을 10cm (건물) 또는 30cm (비행장, 도로, 배수시설)이내로 한정하는 것이다. 이 개념은 여러 학자들의 연구 결과에서 얻어진 것이다. 이 경우에는 완공 후 잔류침하량이 그만큼 발생하더라도 구조물의 거동에 지장을 주지 않고 시공 후의 유지관리도 거의 요구되지 않는다는 것을 뜻 한다”로 논하고 있다.

Table 4.3 일본도로공단 허용잔류침하량 설계기준

연약층의 두께	$D \leq 10m$	$D \leq 30m$	$D > 30m$
허용잔류침하량(cm)	10.0	20.0	30.0

연약지반 내 운영(공용) 중인 고속도로의 경우 침하로 인한 포장보수는 구조물 접속부에서만 이루어지며 그 외 구간(토공부)은 건설당시 포장재료의 품질불량, 시공불량, 교통량 등에 기인한 포장 내구성 저하 등 이상 현상 발생 시 시행되는 포장보수로 대

체 시행되고 있다.

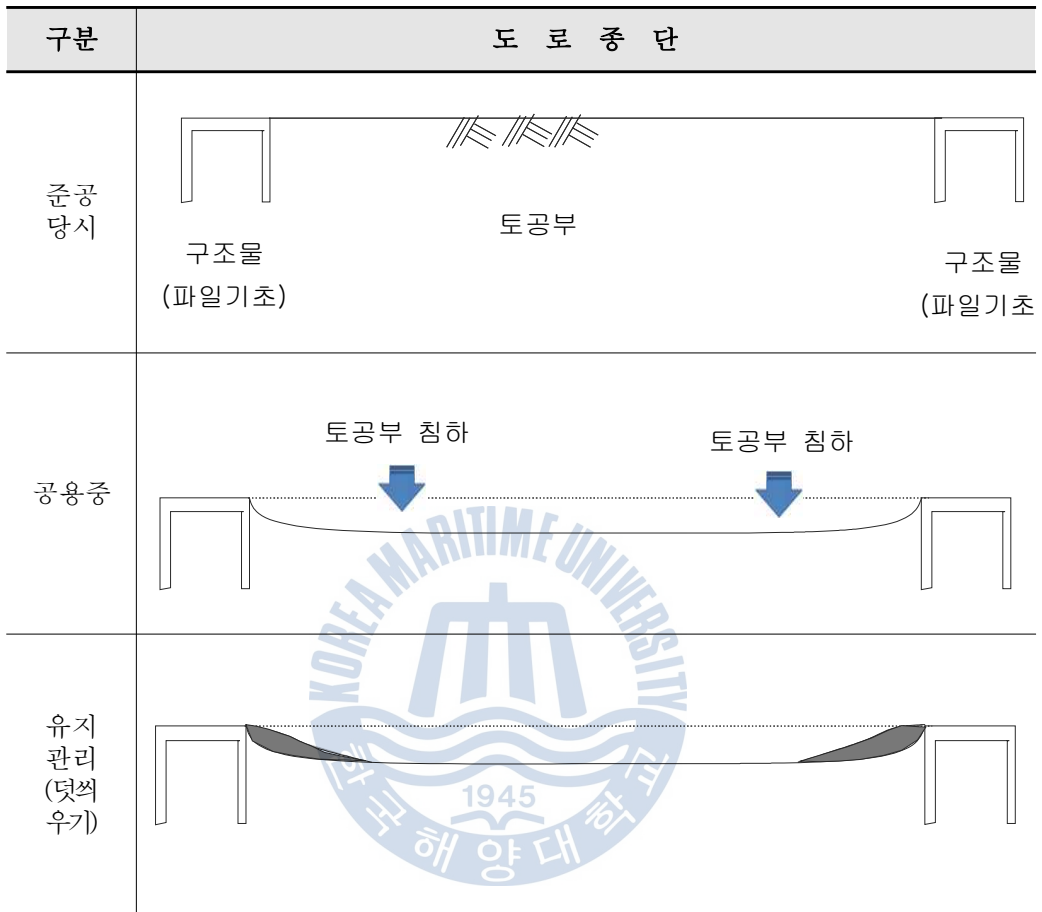


Fig. 4.1 연약지반 구간 유지관리 시 침하에 의한 포장보수 개요도

또한 연약층이 두꺼울수록 침하량 증가와 더불어 침하기간 또한 증가되나 침하속도는 점점 감소하는 것으로 해석됨(Fig 4.2)에 따라 연약층 두께와 침하속도, 그리고 유지관리 시 시행하는 포장보수 주기를 감안하여 허용잔류침하량을 차등 적용하더라도 문제가 없을 것으로 판단된다. 해석은 Terzaghi의 일차원 압밀이론을 사용, 연약지반 해석 전용프로그램인 K-Embank를 사용하였으며, K-Embank는 Cc법, Δe 법, Mv법을 이용한 연약점성토 압밀침하계산, De beer식, B.K,Hough 도표를 이용한 사질토 즉시침하계산, 무처리 및 처리시 압밀 시간/압밀도 계산, Smear Effect, Well Resistance를 고려한 압밀도/시간 계산 등의 기능을 갖추고 있다.

[IN-PUT DATA ; 남해제2지선고속도로 지반정수 사용]

연약 층두께 (m)	계획 성토고 (m)	최종 성토고 (m)	유효응력 (Po) (ton/m ²)	증가응력 (△P) (ton/m ²)	시간계수		압밀계수Cv (cm ² /sec)	배수 조건
					U=100%	공용시		
10.0	5.0	7.80	8.00	14.82	3.58	0.394	0.0016	양면
20.0	5.0	8.70	11.50	16.53	3.58	0.102	0.0016	양면
30.0	5.0	9.30	15.00	17.67	3.58	0.047	0.0017	양면
40.0	5.0	9.70	18.50	18.43	3.58	0.024	0.0015	양면

[OUT-PUT DATA 결과 요약]

연약 층두께 (m)	총 침하량 (cm)	공용시 침하량 (cm)	잔류 침하량 (cm)	최종 침하시간 (년)	공용후 침하시간 (년)	전체 침하속도 (cm/년)	잔류 침하속도 (cm/년)
10.0	146.2	101.4	44.8	18	16	0.26	1.094
20.0	248.5	91.9	156.6	74	72	0.11	0.874
30.0	325.7	90.6	235.1	166	164	0.07	0.574
40.0	385.6	91.0	294.6	295	293	0.04	0.403

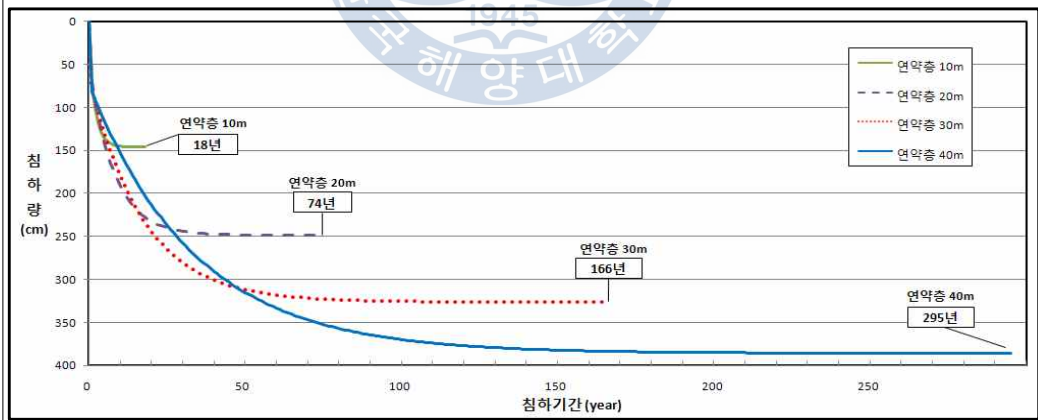


Fig 4.2 연약층 두께별 침하기간 비교

(3) 성토고에 따른 침하량 검토

K-Embank를 이용 기존도로 여성토고 조정에 따른 침하발생 양상을 검토하였다.

여성토고를 상향 조정할 경우 잔류침하량을 감소(Table 4.4)시킬 수 있지만 설계고 + 2.0m이상 여성토 적용 시 단계 성토에 따른 방치기간이 부족하여 충분한 강도증진이 이루어지지 않아 활동에 대한 안정성을 확보할 수 없으므로 설계고 + 2.0m 이상 시행을 위해서는 별도의 활동방지공법 대책마련이 필요한 것으로 판단되었다.

하지만 도로종단을 하향(-)조정 할 경우 Table 4.7과 같이 총 침하량 감소(1m 종단 조정 시 침하량 약 10% 변동 예상 Table 4.5)에 따른 동일 공기 내 잔류 침하량 감소가 예상되며 아울러 토공량 감소에 따른 공사비 절감의 효과를 기대 할 수 있다. (단, 홍수위 확보를 위한 구조물 설치구간은 종단하향 조정구간에서 제외한다.)

Table 4.4 여성토량에 따른 잔류침하량

대표 단면	침하량 (cm)	예정 공기 (개월)	잔류침하량(cm)						
			무처리	PBD+ 설계여성	설계	추가 여성토			
						+ 1m	+ 2m	+ 3m	+ 4m
1+ 480	62.2	18	31.6	3.6	31.6	29.1	26.9	24.8	23.0
5+ 700	196.13	22	90.9	9.3	90.9	77.1	64.3	52.2	40.9
6+ 610	305.72	22	233.5	7.0	233.5	228.7	224.2	219.9	215.9
7+ 900	125.05	22	22.9	1.8	22.9	13.5	4.7	-	-

STA.1+ 480 (K-Embank 출력 예)

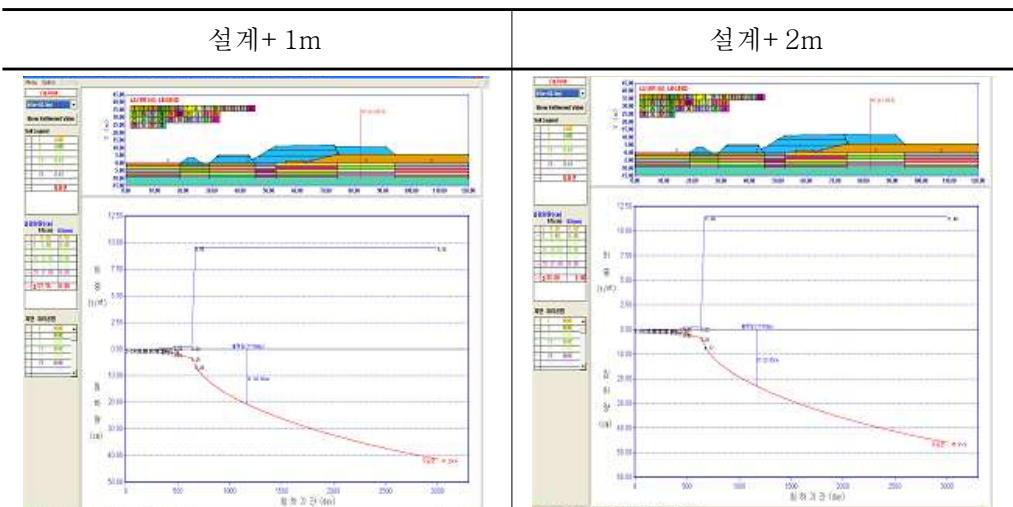


Table 4.5 여성토랑 조정에 따른 침하량 증가율

구간	설계 누적쌓기고	침하량 (cm)	여성토	침하량 증가(cm)	증가율	비고
1+ 480	4m	62	+ 1m	5.6	11%	
			+ 2m	12.8	25%	
			+ 3m	19.16	38%	
			+ 4m	26.16	50%	
5+ 700	3.2m	196	+ 1m	23.3	12%	선형 분리구간
			+ 2m	45.4	23%	
			+ 3m	66.3	34%	
			+ 4m	86.3	44%	
6+ 610	6.5m	305	+ 1m	22.5	7%	
			+ 2m	44	14%	
			+ 3m	64.5	21%	
			+ 4m	84.3	28%	
7+ 900	3.3m	125	+ 1m	12.8	10%	
			+ 2m	24.9	20%	

Table 4.6 종단(-)조정 시 침하량 및 잔류침하량 예측(대표단면 선정 : 1+480)

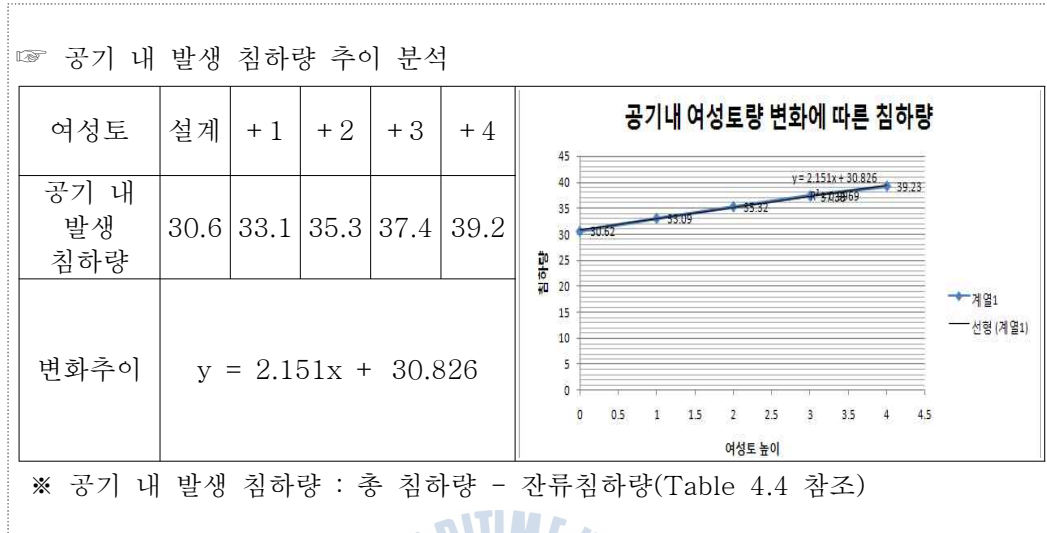


Table 4.7 (-) 종단조정에 따른 잔류침하량 변화 유추

구간	설계 총 침하량	무처리 시 잔류침하량	종단조정 시 침하량(cm)		
			종단조정	총 침하량 (예측치)	잔류침하량 (예측치)
1+480	62	31.58cm	설계	62	32
			-1m	56	27
			-2m	50	23
			-3m	43	18

- 침하량(예측치) : 설계 총 침하량 * (100 - 증가율)
- 잔류침하량(예측치) : 총 침하량(예측치) - 침하량 변화추이($2.151x + 30.826$)

(4) 착안사항에 대한 검토(Feedback)

지반은 직상부가 아닌 인접지점의 재하에 의해서도 지중응력이 발생하므로, 포화된 점성토층의 경우 이 때 유발된 과잉간극수압의 소산으로 압밀침하가 일어나 위치별로 부등침하에 의한 단차 및 상부 균열 현상이 일어날 수 있다. 이러한 문제를 최소화하기 위해서는 모든 지점에서 성토 하중을 동일하게 가하는(즉 성토두께를 일정하게 하는) 것이 좋으나, 도로 확장의 경우는 교통 전환 및 공기 준수 관계로 이 조건을 만족하기 어려운 실정이다.

기존 도로부를 제거하고 연직배수재를 설치한 후 재성토하는 것으로 계획한 현 설계 역시 재성토 후 충분한 방치(압밀)시간을 둘 경우 부등침하하는 문제가 되지 않을 수 있지만, 확장공사의 특성으로 인해 확장부와 기존 도로부 하부지반의 과압밀비가 다르고, 또한 재하이력에 차이가 있으므로 위치별 부등침하 조건에서 자유롭지 않으며 천공식 연직배수재 시공이 불가피한 점 등을 고려할 때 원설계 공법은 큰 장점이 없다.

또한 기존도로의 제체를 제거한 후 연직배수공법을 적용하게 되어있는데 여기에는 제체제거토의 사토장 및 운반의 어려움, 제체 제거 후 PBD 등 연직배수공법 적용을 위한 향타 작업 시 매립층 재료로 사용된 암버럭 등 조립질 재료의 저항으로 인한 관입의 어려움, 장기간 안정된 하부지반의 연직배수재의 재시공으로 지반교란에 따른 강도저하 등을 내포 하고 있다.

따라서 양방향 분리 및 종단상향 역제를 통한 총 부등침하 발생시 대처의 유연성 확보와 침하량 감소, 기존고속도로 하부 무처리 방안으로 개선 할 경우 당초 설계대로 시공할 경우 보다 경제성·안전성·시공성 측면에서 유리할 것 판단된다.

4.2 개선방안 확정

4.2.1 개선방안(설계변경 안) 수립

(1) 종단하향조정 시행으로 침하량 최소화

침하량 발생이 최소화 될 수 있도록 건설교통부 『도로의 구조 시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침』에 의거 최소 종단경사 기준을 변경(0.5%이상→0.3%이상)하여 상재하중을 감소토록 조치함은 물론, 본선 횡단 교량 형식 변경(하부통과 → 상부통과)및 형하 여유고 조정을 통하여 가능한 기존고속도로 종단고와 유사토록 개선방안을 수립하였다.



Fig. 4.3 종단조정방안

(2) 허용잔류침하량 설계기준 변경

당초 지반조건(연약지반 침도)과 무관하게 일률적으로 10cm로 적용된 허용잔류침하량 설계기준을 Table 4. 6과 같이 연약지반 침도에 따라 세분화 하여 설계 기준을 변경하였다.

Table 4.8 변경 허용잔류침하량 설계기준

연약지반 침도	허용 잔류 침하량	압밀도
10m 이하	10cm	90% 이상
30m 미만	20cm	
30m 이상	30cm	

(3) 양방향 접속부의 단차발생, 종단균열 예방을 위한 선형분리

종단하향조정에 따른 여유부지 및 확장구간 선형변경에 따른 당초 설계된 폐도구간을 활용하여 당초 중앙분리대 구간에 3~6m의 녹지대를 설치, 방향별로 노선 분리를 하여 방향별 재하이력차이에 의한 부등침하 피해 최소화를 유도하였고, 기존도로는 성토에 의한 종단 조정 없이 덧씌우기 포장을 통한 포장보수 및 종단조정을 시행 하부 무처리가 가능토록 개선방안을 수립하였다.

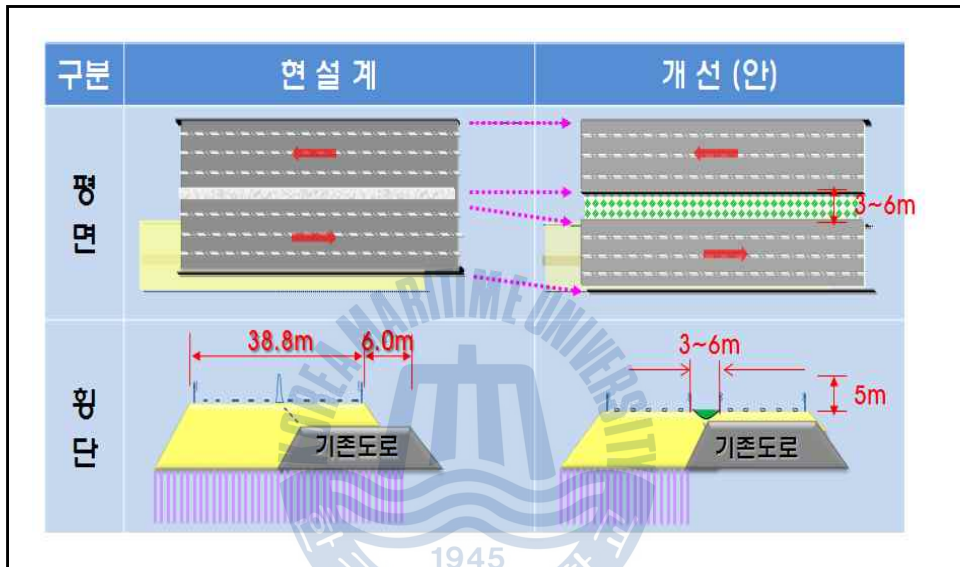


Fig. 4.4 평면선형분리 방안

4.2.2 개선방안 타당성 검토

(1) 시공성 측면

기존 고속도로부에 시행하는 작업단계 축소(6단계⇒1단계)로 기존고속도로에서만 최소 10개월 이상의 공기단축이 가능하며, 공사 착공 초기 용지매수 지연, 민원 등에 의한 손실 공기 만회가 가능하다.



Fig. 4.5 시공단계 축소

또한 기존고속도로의 제체 제거토 및 폐아스콘 등의 처리가 불필요하여 선후공정 제약이 없어 시공성이 개선될 것으로 판단되며, 기존도로 법면부 천공PBD 시공에 따른 장비 조합 애로 및 작업효율 저하 등 시공성 저하 문제가 해소될수 있다.

허용잔류침하량 기준 변경 적용으로 기존고속도로의 경우 하천홍수위 상향 조정 에 따른 종단조정구간을 여성토 공법으로 처리가 가능하며, 신설 확장부의 경우 방 치기간 여유공기 확보가 가능하다.

(2) 경제성 측면

기존도로 제거 및 연약지반 처리공법 미시행으로 변경되는 공사량은 아래 Table 4. 9와 같으며 그 결과 약 69억원의 사업비 절감이 가능하다.

Table 4.9 공사량 변경

구 분	순성토	연직배수	기타
공사량	- 50만m ³	- 144만m	- 1식

기존도로 하부 PBD 시공 시 침하된 암버력 등 조립질 재료의 저항으로 인한 처리비용(천공 또는 제거) 및 기존도로 제체 제거토사 및 폐아스콘 처리 비용 등 사업비의 추가반영이 필요 하나 개선방안 적용 시 추가 사업비 증액이 불필요하다

(3) 안정성 측면

기존도로 하부 PBD 시공 시 지반교란으로 인한 인접도로 및 철도, 농경지, 시설물 등의 예상되는 연동침하 문제해소로 시공안정성이 증대될 것으로 판단된다.

(4) 유지관리 측면

앞서 1996년 남해선 확장준공 후 12년간의 포장보수현황을 분석한 결과에서 보듯이 일반구간, 연약지반 공히 3~5년 단위로 주기적 포장 보수가 시행된 점과 장기적으로 “처리구간” “무처리구간”의 보수율이 큰 차이가 없는 것을 볼 때 포장 수명저하에 따른 포장보수로 연약지반 침하 등에 의한 부분의 조치가 가능할 것으로 판단된다.

또한 대부분의 연약지반은 잔류침하량이 장기간에 걸쳐 발생하고, 연약층두께에 따라 침하 형태가 다르게 분포하므로, 연약층 두께에 따라 허용잔류침하량을 차등 적용함이 타당 할 것으로 판단된다.

현행 연약지반 유지관리 시 구조물 접촉부는 4cm 침하시 1회 오버레이를 실시토록 규정되어 있으며, 공용 후 침하속도가 1cm/년일 경우 4년에 1회 오버레이를 실시로 유지관리가 가능하며, 실지 유지관리부서의 오버레이 시행 주기 또한 4~5년 1회 시행중에 있다. 교량부가 아닌 일반 토공부의 경우도 연약지반 및 일반구간 모두 3년~5년에 한번씩 평균 5cm정도 오버레이에 의한 포장보수를 실시하고 있다.

그러므로 변경된 기준 적용 시 공용 후 침하속도가 1cm/년 이하로 예상될 경우 유지관리가 가능하며 개선방안 적용 시 연약지반 처리기간(방치기간)이후 연약층 두께별 침하속도는 Table 4.10과 같다.

Table 4.10 기준 변경 시 침하속도

연약층 두께	PBD 설치 및 방치기간 종료 후 침하속도 (cm/년)			
	잔류 침하량 (cm)	전체 평균 침하속도	방치기간 종료 후	
			1년 6개월까지	1년 6개월 이후
10m	1.13 < 10	0.35	-	-
20m	19.2 < 20	6.37	12.5	0.3
30m	29.2 < 30	5.42	17.7	0.7
40m	29.0 < 30	4.61	16.8	0.8

개선방안 적용 시 방치기간 종료 이후 1년 6개월 동안 침하속도가 매우 빠르게 침하가 이루어지나, 대부분의 성토작업이 신설확장부에서 이루어지며, 신설확장부의 경우 방치기간 종료 후부터 기존고속도로 교통전환 및 구조물(교량) 신설, 덧씌우기 포장 등 최종 준공 시까지 최소 2년 이상의 여유 공기가 있어, 공사 중 집중관리가 가능하며, 또한 최종 준공 전 신설확장부에 대한 덧씌우기 포장을 추가 설계에 반영할 경우 충분이 조치가 가능할 것이며, 준공 이후 평균 침하량이 1.0cm/년 이하 발생되므로 유지관리 시 또한 충분한 관리가 가능할 것으로 판단된다.

또한 연약지반 처리구간과 무처리구간의 접촉부에서 잔류침하 속도 차이로 인한 단차, 종방향 균열 등에 대한 문제해소가 가능할 것으로 판단되는 중앙 분리 녹지구간에 도로를 따라 U형 타입의 종방향 배수로를 설치할 경우 도로 공용 중 발생하는 부등침하에

따른 노면 물고임부를 유지관리 부서에서 즉시 중앙 종배수로로 유도배수 할 수 있어
즉각적인 물고임에 의한 도로 교통사고 예방조치가 가능하리라 판단된다.



제 5 장 결 론

낙동강과 서낙동강을 가로질러 국내 최장심도의 연약지반이 분포되어 있는 지역에 위치한 남해고속도로 제 2지선은 1981년 최초 건설된 이후 2002년 확장 타당성 조사를 시작으로 2005년 6월부터 2008년 4월까지 실시설계 및 보완설계라는 과정을 거쳐 2008년 12월 확장공사를 착공하였다. 하지만 공사 착공 초기 확장 신설부 용지매수 지연, 각종 민원, 성토용 토사 확보 지연 등으로 공사 착수의 어려움이 있었다. 아울러 하천홍수위 상향조정 및 도로 최소 종단경사 0.5% 만족을 위해 설계된 도로의 종단이 기존 고속도로 보다 최대 5m 이상 높았으며, 확장공사 교통 전환 및 용지매수의 최소화를 위해 방향별 노선을 콘크리트 중앙분리대 만으로 구분된 일체식 도로를 계획함에 따라 기존고속도로 구간의 공기내 연약지반 처리를 위해 30년간 안정화된 것으로 판단되는 기존고속도로를 제거한 후 다시 연약지반 처리를 한 후 성토로 함에 따라 시공 중, 시공 후 많은 문제점이 발생 될 것으로 예상되었다.

이에 따라 시공 중 안정성확보 및 시공성 향상을 위해 개선안을 도출하였고 그 결과 예산절감 및 추가공기 확보가 가능하게 되었다. 이러한 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 작업단계 축소(6단계⇒1단계)로 기존고속도로에서만 최소 10개월 이상의 공기 단축이 가능하며, 공사 착공 초기 용지매수 지연, 민원 등에 의한 손실 공기 만회가능하며, 기존고속도로의 제체 제거토 및 폐아스콘 등의 처리가 불필요하여 선후공정 제약이 없어 시공성 개선되며, 기존도로 법면부 천공PBD 시공에 따른 장비 조합 애로 및 작업효율 저하 등 시공성 저하 문제가 해소될 수 있다.
- (2) 허용잔류침하량 기준 변경 적용으로 기존고속도로의 경우 하천홍수위 상향 조정에 따른 종단조정구간을 여성토 공법으로 처리가능하며, 기존도로 제거 및 연약지반 처리공법 미 시행으로 약 69억원의 사업비 절감 뿐만 아니라 기존도로 하부 PBD 시공 시 침하된 암버럭 등 조립질 재료의 저항으로 인한 처리비용(천공또는 제거) 및 기존도로 제체 제거토사 및 폐아스콘 비용 등 사업비의 추가반영이 불 필요하다.
- (3) 기존도로 하부 PBD 시공 시 지반교란으로 인한 인접도로 및 철도, 농경지, 시설물 등의 예상되는 연동침하 문제해소로 시공안정성 증대되며, 분리 녹지대 설치에 따른

중앙분리대 구간의 잔류침하 속도 차이로 인한 단차, 종방향 균열 등 문제가 해소되며, 녹지구간에 도로를 따라 U형 타입의 종방향 배수로 설치로 도로 공용 중 부등침하에 따른 노면 물고임부 발생 시 유지관리 부서에서 즉시 중앙 종배수로로 유도 배수 할 수 있어 물고임에 의한 도로 교통사고 예방 조치 가능하다.

(4) 당초 연약지반의 침도와 무관하게 일률적으로 10cm로 적용된 허용잔류침하량 기준을 이번 설계변경 시 연약지반 침도별로 허용잔류침하량을 세분화 하여 공학적 합리성과 시공관리의 실효성을 개선하였다. 하지만 남해고속도로 제2지선에 국한하여 적용된 관계로 향후 확대적용을 위해서는 준공 시점의 발생한 실 침하량과 유지관리 중 발생하는 2차 압밀의 영향에 의한 침하량에 대한 세밀한 분석이 추가되어야 할 것이며, 더불어 공용 중 발생된 침하량과 유지관리 비용 등에 대한 재차 연구 및 Feed Back이 필요 할 것이라 생각된다.



참 고 문 헌

1. 건설교통부(2003), “도로의 구조 시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침”
2. 국토해양부(1991), “도로포장 유지보수 실무편람”
3. 한국지반공학회(2005), “연약지반”
4. 한국도로공사(2006), “남해고속도로 확장공사 건설지”
5. 한국도로공사(1982), “부산~마산간 고속도로 건설지”
6. 한국도로공사(2008), “교통재분석보고서”
7. 한국도로공사(2007), “2006 고속도로 교통량”
8. 한국도로공사(2011), “2010 고속도로 교통량”
9. 한국도로공사(2008), “고속국도 제104호선 남해고속도로 (냉정~부산간) 확장공사 일반
보고서 제3-1공구”
10. 한국도로공사(2008), “고속국도 제104호선 남해고속도로 (냉정~부산간) 확장공사
일반보고서 제3-2공구”
11. 한국도로공사(2008), “고속국도 제104호선 남해고속도로 (냉정~부산간) 확장공사
일반보고서, 제4공구”
12. 한국도로공사(2008), “고속국도 제104호선 남해고속도로 (냉정~부산간) 확장공사
지반조사보고서 제3-1공구”
13. 한국도로공사(2008), “고속국도 제104호선 남해고속도로 (냉정~부산간) 확장공사
지반조사보고서, 제3-2공구”
14. 한국도로공사(2008), “고속국도 제104호선 남해고속도로 (냉정~부산간) 확장공사
지반조사보고서, 제4공구”
15. 한국도로공사(2002), “도로설계요령”
16. 稻田倍穂 著, 編輯部 譯(2010), “軟弱地盤에 관한 土質工學”[圓技術]
17. 한국도로공사 경남지역본부 포장보수공사 준공서류(1996 ~ 2008)
18. 대한주택공사(1995), “A Study on the Selection of the Slope Stabilization
Method According to the Ground Characteristics”
19. 한국도로공사 도로교통연구원(2010), “교량기초 최적화 연구 : 침하량 및 횡방향
변위”
20. 행정자치부 국립방재연구소(2000), “연약지반의 침하와 지반동역학적 특성파악

: 호우 및 산불로 인한 사면붕괴 조사와 지반 내진대책을 중심으로"

21. 韓國土地開發公社(1992), "軟弱地盤 改良時 沈下計測에 關한 研究, I"
22. 건설교통부 한국건설교통기술평가원(2007), "연약지반 측방유동 판정기법 및 토목섬유, 말뚝 복합보강공법개발"
23. 이인훈(2007), "인천지역의 준설토 매립이력을 고려한 잔류 침하량 산정연구"
24. 김홍중, 조성민, 정종홍, 정경자, 서진원, 이지영(2004), "연약지반 구간 고속도로 유지관리 대책수립(Ⅱ)"
25. 김상규(2003), "부산 신항 항만단지의 침하관리와 기초설계"
26. 윤영석, 홍정표, 김달용, 진규남, 이대영, 이병택, 이달원, 김한기(1997), "연약지반의 처리공법과 침하계측에 관한 연구"
27. 김성환, 노한성(1995), "연약지반 침하량 추정에 관한 연구"
28. 최영철, 전상수, 박양수, 양학승(2003), "연약지반 과재성토 다짐밀도 연구"
29. 정종홍, 조성민, 김홍중, 정경자, 박중규, 김동승(2005), "연약지반 구간 고속도로의 개통 후 침하평가 및 관리방안 연구"
30. 정하익, 이용수, 정길수, 진현식, 정문경, 우재윤, 조삼덕, 김영진, 안태봉, 김인대, 고갑수, 박영목(1999), "연약지반의 압밀특성에 관한 연구"
31. 박영목, 이창훈, 윤성배, 김재석, 김신욱, 정영(1999), "연직배수공법 적용 시 지반교란에 따른 압밀특성 평가에 관한 연구"

감사의 글

대학원에 입학한 지 2년, 2년이란 세월이 결코 짧지 않은 기간이지만 저에게는 한순간의 찰라와 같이 지나간 것 같습니다. 사회인으로서 직장생활과 더불어 학교생활을 쉽게, 또한 이런 성과물이 있게 만들어 주신 여러 교수님들, 연구실 선배님들... 이러한 많은 분들의 도움이 있어 가능하였고 이러한 도움에 마음 깊이 감사드립니다. 다만 일일이 찾아뵙고 감사드리지 못한 점 너그러우신 마음에 용서를 구합니다.

부족한 저를 지금까지 항상 너그러이 이끌어 주시고 학문적 틀을 굳건하게 해주신 김도삼 교수님, 김태곤 교수님, 경갑수 교수님 그리고 저의 지도교수이신 김태형 교수님 감사합니다. 논문작성의 기본 자료가 된 확장공사의 문제점 및 처리방안 강구, 분석, 재설계 등을 위해 1년 이상 저와 함께 서울 부산 인천 광주를 뛰어 다니면서 고생한 냉정~부산건설사업단 설계파트 박종은과장님, 고진홍대리님, 울트라건설, 벽산건설, 동아건설, 대림산업 공무팀 여러분들, 드림이엔지, 평화엔지니어링 설계 참여자 여러분에게도 감사드립니다. 또한 늦각이 대학원 후배를 불철주야 도와준 실험실의 웅기, 영준이 정말 고맙고, 실험실의 성규, 강성현 선배, 박이근 박사님 고맙습니다.

어느덧 대학원 졸업을 눈앞에 두고 있습니다. 마지막 마무리 글을 작성하는 이 순간 지금까지의 생활이 주마등처럼 스쳐 지나가면서 항상 최선을 다하지 못했던 자신에게 후회도 됩니다. 하지만 2년여의 시간은 결코 헛되지 않았고 저의 삶의 소중한 부분이었음을 자신할 수 있습니다.

다시 한번 이 글을 빌어 여러분들에게 감사 드립니다

2011 년 12 월
최명호 드림